

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS HUMANAS LETRAS E ARTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FILOSOFIA - MESTRADO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: METAFÍSICA E EPISTEMOLOGIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ESPAÇO-TEMPO METAFÍSICO E ESPAÇO-TEMPO
COSMOLÓGICO.**

ELTON JUNIOR MARTINS MARQUES

CURITIBA

2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS HUMANAS LETRAS E ARTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FILOSOFIA - MESTRADO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: METAFÍSICA E EPISTEMOLOGIA

ELTON JUNIOR MARTINS MARQUES

ESPAÇO-TEMPO METAFÍSICO E ESPAÇO-TEMPO COSMOLÓGICO

Dissertação apresentada como requisito parcial
à obtenção do grau de Mestre do Curso de
Mestrado em Filosofia do Setor de Ciências
Humanas, Letras e Artes da Universidade
Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr: Breno Hax Junior

CURITIBA

2012



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Humanas, Letras e Artes
Programa de Pós-Graduação em FILOSOFIA - Mestrado

ATA DA SESSÃO DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

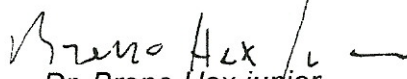
Defesa nº 82 de 2012

Ata da Sessão Pública de Exame de Dissertação para Obtenção do
Grau de MESTRE em FILOSOFIA, área de concentração: HISTÓRIA
DA FILOSOFIA MODERNA e CONTEMPORÂNEA.


Ao vigésimo nono dia do mês de março do ano de dois mil e doze, às quatorze horas, nas dependências do Programa de Pós-Graduação em Filosofia, do Setor de Ciências Humanas, Letras e Artes da Universidade Federal do Paraná, reuniu-se a banca examinadora aprovada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Filosofia, composta pelos Professores: Dr. Osvaldo Frota Pessoa (USP), Dr. Alexandre Noronha Machado (UFPR), sob a orientação do professor Dr. Breno Hax Junior, com a finalidade de julgar a dissertação do candidato Elton Junior Martins Marques, intitulada "**Espaço-tempo metafísico e espaço-tempo cosmológico**", para obtenção do grau de mestre em Filosofia. O desenvolvimento dos trabalhos seguiu o roteiro de sessão de defesa estabelecido pelo Programa de Pós-Graduação em Filosofia, com abertura, condução e encerramento da sessão solene de defesa feitas pela Professor Dr. Breno Hax junior. Após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, os membros da banca examinadora deliberaram pela "APROVAÇÃO" do mesmo HABILITANDO-O ao título de Mestre em FILOSOFIA, na área de concentração em HISTÓRIA DA FILOSOFIA MODERNA E CONTEMPORÂNEA, desde que apresente a versão definitiva da dissertação no prazo de sessenta (60) dias, conforme Res.65/09-CEPE-Art.67 e Regimento Interno do Programa de Pós-Graduação em Filosofia. E, para constar, eu Aurea Junglos, Secretária Administrativa do Programa, lavrei a presente ata que vai assinada por mim e pelos membros da banca.

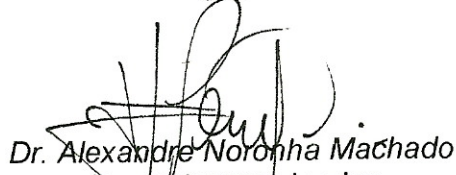
Curitiba, 29 de março de 2012.

Aurea Junglos
Secretaria Administrativa PGFILOS/UFPR


Dr. Breno Hax Junior

Orientadora e Presidente da banca examinadora
UFPR


Dr. Osvaldo Frota Pessoa Junior
Primeiro examinador
USP


Dr. Alexandre Noronha Machado
Segundo examinador
UFPR



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Humanas Letras e Artes
Programa de Pós-Graduação em Filosofia- Mestrado

AVALIAÇÃO DA DISSERTAÇÃO
Defesa nº 82 de 29/03/2012


Mestrando: Elton Junior Martins Marques

Título da Dissertação "Espaço-tempo metafísico e espaço-tempo cosmológico."


Integrantes da banca examinadora	Notas
Prof. Dr. Breno Hax Junior (UFPR) Orientador e Presidente da banca examinadora	9,0
Prof. Dr. Osvaldo Frota Pessoa Junior (USP) Primeiro examinador	9,0
Prof. Dr. Alexandre Noronha Machado (UFPR) Segundo examinador	9,0
Média final	9,0
Conceito	A

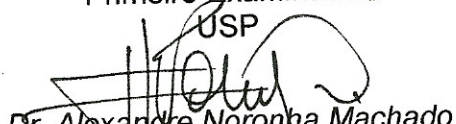
Os examinadores atribuem nota em escala de zero a 10 (dez), sendo considerado aprovado o mestrando que obtiver como nota final, a média aritmética superior a 7 (sete). No parecer emitido por ocasião da defesa, constará a nota e o critério: **CONCEITO**.

Os examinadores registraram no corpo da dissertação as correções sugeridas.


Dr. Breno Hax Junior

Orientador e Presidente da banca examinadora
UFPR


Dr. Osvaldo Pessoa Junior
Primeiro Examinador


Dr. Alexandre Noronha Machado
Segundo Examinador
USP
UFPR

§ 1º - Será considerado aprovado o aluno que lograr os conceitos A, B ou C.

A = Excelente = 9,0 a 10,0

B = Bom = 8,0 a 8,9

C = Regular = 7,0 a 7,9

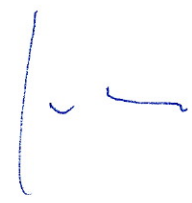
D = Insuficiente = zero a 6,9

Profa. Dra. Maria Isabel Limongi
Coordenadora do PGFILOS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS HUMANAS LETRAS E ARTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FILOSOFIA - MESTRADO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: HISTÓRIA DA FILOSOFIA MODERNA E CONTEMPORÂNEA

Por decisão do Colegiado do Programa o aluno deverá atender as solicitações da banca, quando houver, e anexar este ao final da dissertação como versão definitiva aprovada pelo orientador, que neste momento estará representando a Banca Examinadora.

Curitiba, 22 de MAIO DE 2012

Prof. Doutor BRENO HAX JÚNIOR Assinatura: Breno Hax 

Índice:

5-6. Resumo

7-36. I. Capítulo: Sobre substantivismo e relacionismo

37-58. II. Capítulo: Sobre a teoria da relatividade restrita e geral: a importância da relatividade para filosofia do espaço e do tempo

59-80. III. Capítulo: O relacionismo e suas exigências

62-66. III. 1 O chamado princípio de Mach

67-. III. 2 A chamada redução machiana

68-69. III. 3 Exigência pela observabilidade

70-79. III. 4 Exigências leibnizianas

80-. III. 5 Exigência pelo determinismo nas teorias

81-134. IV. Capítulo: Esses requisitos são cumpridos pelas teorias da relatividade?

86-95. IV. 1 Resposta à exigência machiana: o princípio de Mach

96-. IV. 2 Resposta à exigência machiana: a redução machiana

97-98. IV. 3 Resposta à exigência pela observabilidade

99-. IV. 3.i Sobre a diferença entre o domínio metafísico e epistemológico

100-102. IV. 3.ii Contra a hipótese de que a mudança é um dado objetivo

103-104. IV. 3.iii É lógico-conceitualmente impossível que haja tempo sem mudança?

105-107. IV. 3.iv O espaço-tempo de Minkowski

108-131. IV. 4 Resposta às exigências leibnizianas

132-134. IV. 5 Resposta à exigência pelo determinismo

135-142. V. Considerações finais

Bibliografia

Agradecimentos

Que fique aqui registrado o meu carinho e agradecimento ao corpo docente da UFPR, sobretudo aos professores Breno Hax Junior, meu orientador; Eduardo Sales de Oliveira Barra, professor atento e muito competente; aos amigos do “POL”- grupo interdisciplinar de estudos de que participei, sob coordenação do professor Breno; ao professor Lúcio Lobo, por ser uma boa companhia e por ensinar que a boa filosofia também se faz à boa mesa; Paulo Vieira Neto, pelas conversas estimulantes na cantina; Alexandre Noronha Machado, pela argúcia e sinceridade.

Agradecimentos especiais ao professor Caetano Ernesto Plástino, pela orientação no período que correspondeu aos estudos na USP, e ao professor Osvaldo Pessoa Junior, pelas conversas, orientações e esclarecimentos técnicos de importância fundamental.

Ao Governo Federal e suas agências de financiamento, sem as quais não haveria condição para que se fizesse pesquisa séria nesse país.

Por fim, aos familiares, amigos de graduação e mestrado, namorada e muitas outras pessoas a quem solicitei apoio e, por sorte de tê-las no caminho, pude sempre contar.

Meus sinceros agradecimentos.

MARQUES, M. Elton. Espaço-tempo metafísico e espaço tempo cosmológico. 2012. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Filosofia do Departamento de Filosofia da Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2011.

Resumo.

Este trabalho tem o objetivo de participar do debate contemporâneo em filosofia da física, defendendo o substantivismo das objeções que lhe tem sido feitas, apresentando-o como uma filosofia compatível com as teorias da relatividade, além de representativo do realismo no que diz respeito a uma interpretação filosófica das teorias de Albert Einstein (1879-1955). Nossa participação neste debate ocorre do seguinte modo: a) apresentar um desenvolvimento histórico cuja tese central é a continuidade entre absolutismo e substantivismo; b) caracterizar o relacionismo como correspondente a uma determinada demanda de exigências e, então, mostrar que nossa melhor teoria do espaço e do tempo (a teoria da relatividade restrita e geral) não satisfaz plenamente a essa demanda, sugerindo ser o substantivismo uma opção mesmo após as revoluções que a física relativística veio a introduzir. Esta dissertação opõe-se ao que foi sugerido por Hans Reichenbach (1891-1953) e outros autores, muitos dos quais tecem críticas a conceitos absolutos por razões lógico-empiristas, principalmente. Essa é uma das razões que torna possível perceber a continuidade entre absolutismo e substantivismo, pois, como esperamos demonstrar, a natureza das críticas aos conceitos absolutos empregados por Isaac Newton (1643 - 1727) possui parentesco com a razão pela qual muitos autores entenderam a relatividade como uma ocasião para abandonar o substantivismo. Procuramos mostrar que, não obstante a grande esperança demonstrada na capacidade da teoria einsteiniana de realizar o programa relacionista (esperança que o próprio Einstein parecia contemplar), não é consensual que Einstein ou os desenvolvimentos posteriores da teoria da relatividade o tenham conseguido. Isso compreende o núcleo dessas questões, cujas considerações são retiradas de uma ampla literatura filosófica e científica, concomitantemente.

Palavras Chaves: Substantivismo; Relacionismo; Empirismo; Relatividade.

Abstract.

This work aims to participate in the contemporary debate on Philosophy of Physics, defending Substantivism from the objections that have been made against it, and presenting it as a philosophy compatible with the theories of relativity and representative of Realism, understood as a philosophical interpretation of Albert Einstein's theories. Our participation in this debate occurs as follows: a) presenting a historical development whose central thesis is the continuity between Absolutism and Substantivism: b) defining Relationalism as corresponding to certain epistemic requirements, and then showing that even our best theory of space-time (i. e., the theories of Special and General Relativity) fails to fully satisfy this demand, which suggests in turn that Substantivism is a viable option, even after the revolutions introduced by Relativistic Physics. This dissertation opposes to what is suggested by Hans Reichenbach (1891-1953) and others, who criticize the absolute concepts by reasons that are mainly logic-empiric. Indeed, this is one reason that makes it possible for us to perceive the continuity between Absolutism and Substantivism. As we hope to demonstrate, the nature of the criticism made against the the absolute concepts employed by Newton is akin with the reason why many authors understood Relativity as an occasion to "leave" Substantivism. We show that, despite the great hope in einsteinian theories as a way to implement the Relationalist program (hope that Einstein himself seemed to hold), it is not a consensus that Einstein's or the later developments his theories have done so. This comprises the core of our contribution, which is drawn from a broad spectrum of scientific and philosophical literature.

Keyword: Substantivism; Relationalism; Empiricism; Relativity.

I. Sobre substantivismo e relacionismo.

As duas doutrinas ontológicas mais populares entre os filósofos da física são o relacionismo e o substantivismo. Neste primeiro capítulo, pretendo definir de maneira clara as duas doutrinas e me referir aos autores que são gênese para esse debate. O objetivo é apresentá-lo como um ressurgimento de questões mais antigas em filosofia, mostrando que, apesar disso, o contexto em que se circunscrevem na metafísica contemporânea exige pensar as questões clássicas (o que é o tempo? O tempo pode ser medido sem mudança?) concomitantemente a questões novas (O que é o espaço-tempo da teoria da relatividade? A simultaneidade da relatividade tem implicações filosóficas?)¹. Não defenderei que as questões que se apresentavam a Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646 - 1716) e Newton são as mesmas atualmente estudadas. Mas, defenderei que são as doutrinas a que se dedicavam as mesmas existentes ainda hoje, rediscutidas para a compreensão em um novo contexto, em que importam os recentes desenvolvimentos da física. Para começar a dissertar sobre o debate histórico, vou tratar primeiro do espaço newtoniano e as objeções que lhe foram feitas, de uma perspectiva em que importa entender-lhe o contexto e o espírito que o animava na construção do seus *Principia*² (1687).

As maneiras para definir essas doutrinas são muitas, variando conforme a literatura que se pode utilizar. Para ser consistente com a tese que estou a defender, vou recorrer ao clássico debate entre Leibniz e Newton com a finalidade de mostrar que as doutrinas sobre o espaço-tempo são as mesmas, mudando apenas a interpretação física dos fatos a serem por elas acomodados. Como a literatura sobre isso é variada e rica, a fim de providenciar uma caracterização primária na qual essas teses sejam

¹Grünbaum discute em dois textos muito importantes uma ideia bastante difundida, a qual atribui a Jammer e outros. Segundo esses autores, a controvérsia antiga em metafísica do tempo vem sendo reanimada pós-teoria da relatividade e, pensa sobre isso Grünbaum, de maneira equivocada, pois muitas vezes se alega, erroneamente, que o estado das teorias atuais não admite em seu arcabouço de conceitos o absolutismo quanto a espaço e tempo. Neste trabalho adotarei um ponto de vista semelhante, segundo o qual o substantivismo pode ser admitido no arcabouço conceitual das teorias de Einstein.

²*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. (1687).

compreendidas, tanto em um contexto newtoniano quanto em um contexto atual, vou sumarizar o relacionismo como o conjunto das posições abaixo, inspirado na análise que faz sobre isso Paul Horwich e, tal como em seu texto de 1988, caracterizar o relacionismo como uma doutrina que aceita uma ou mais das descrições abaixo, embora um relacionista pudesse endossá-las a todas:

- A) A existência do espaço e do tempo depende da existência de objetos;
- B) Espaço e tempo não são substâncias;
- C) A localização espacial e temporal dos eventos pode ser analisada em termos das localizações de objetos entre si (essa tese não é similar a B; para alguém aceitar a falha de B é preciso negar que as relações espaciais e temporais sejam relações diádicas entre objetos e localidades no espaço e no tempo).
- D) Todo movimento é um movimento relativo: os objetos só se movem em relação à sua distância de outros objetos.
- E) Quaisquer características do espaço e do tempo, tais como propriedades geométricas e relações entre intervalos, podem ser definidas em termos dos comportamentos de objetos e eventos (Esta é a tese do amorfismo intrínseco ao espaço, sustentada por Adolf Grünbaum).
- F) Todos os fatos espaciais e temporais podem ser analisados em termos de conceitos não espaciais e temporais (Por exemplo, como na assim chamada teoria causal do tempo: a noção de intervalo de tempo pode se reduzir a uma noção causal entre eventos) ³.

Muitos dos sentidos relacionistas que estão propostos são consequentes com projetos reducionistas de reinterpretação de conceitos, como, por exemplo, em “E” e “F”. Assim, basicamente, uma proposta é substantivista quando nega ser possível reduzir qualquer fenômeno espaço temporal a fenômenos de outra natureza e quando propõe que os conceitos de espaço e tempo sejam mantidos juntos a um compromisso ontológico. Isso não quer dizer que os substantivistas têm uma e mesma doutrina, para todo autor que é realista sobre isso. Sklar, por exemplo, em seu texto de 1974, assinala dois tipos de doutrinas newtonianas, aquelas que são “neo-Newton” e aquelas que são “new-Newton”. As primeiras têm compromissos substantivistas sutilmente diferentes das segundas. Os “neo-Newtonians” preferem entender o seu substantivismo como um

³Inspirado integralmente em Horwich, (1978, pg. 399).

realismo sobre “pontos” no espaço e no tempo. Segundo essa versão, a qual é adotada, por exemplo, por Butterfield (1988, 1989)⁴, os pontos são admitidos em um sentido não ficcional⁵. Nesta dissertação optaremos por nos referir ao substantivismo desta forma considerado - um realismo sobre “pontos” no espaço-tempo a formarem uma geodésica estrutura a que se pode reportar o filósofo newtoniano para a consideração do movimento absoluto. Nas páginas abaixo, veremos como o substantivismo e o absolutismo newtoniano coincidem em muitos aspectos, de modo que é perfeitamente possível dizer ser o substantivismo uma versão contemporânea das doutrinas de Newton.

O espaço newtoniano é uma coleção de particulares (pontos, regiões); uma existência independente a oferecer um *framework*. Desejo discorrer sobre o espaço absoluto newtoniano de uma perspectiva histórica para, posteriormente, justificar a intenção de entender o absolutismo newtoniano e o substantivismo contemporâneo como a mesma doutrina em contextos que se diferem. O autor dos *Principia* adota uma doutrina para o espaço que parece ser, à primeira vista, muito diferente de diversas exigências que tomava para a realização de sua ciência. Ernst Mach (1838 - 1916) não deixou de percebê-lo e, no capítulo em que discute criticamente os conceitos newtonianos de espaço e tempo, reconhece o quanto parece contraditória a promessa newtoniana de se ater a fatos quando faz a postulação absoluta de espaço e tempo:

It is scarcely necessary to remark that in the reflexion here presented Newton has again acted contrary to his expressed intention only to investigate actual facts. No one is competent to predicate things about absolute space and absolute motion; they are pure things of thought, pure mental constructs that cannot be produced of experience. (Mach, 1919, pg. 229)⁶.

O espírito que devia animá-lo, ao autor dos *Principia*, era cientificista, e até mesmo sua concepção da matemática e sua metodologia parecem enunciá-lo. Não se

⁴Ver Cap. IV a partir da pg. 108

⁵Ver Nota 13-14. pg. 22

⁶Não é sequer necessário enfatizar a reflexão aqui apresentada. Newton agiu, novamente, contrariamente ao seu desejo de apenas investigar fatos reais. Ninguém é competente o suficiente para pregar coisas sobre o espaço absoluto e o movimento absoluto; eles são puramente seres de razão, de pensamento, não podem ser reproduzidos pela experiência. (tradução minha).

pode dizer que ele seja um positivista na acepção que essa palavra tem atualmente, mas seu *Hypoteses non fingo* é bastante revelador daquilo que desejo mostrar, ao demarcá-lo como animado por um espírito de “empíria”. Mesmo a geometria tinha um caráter que se devia entender “colado” ao real, e sua negativa de que a geometria pudesse ser entendida como abstrata pode ser rastreada até seu mestre, Isaac Barrow (1630 - 1677), para quem as curvas geométricas tinham uma essência a ser entendida como mecânica (Jammer, 2010, pg. 132). Mas os *Principia* tinham um interesse que transcendia sua matemática e seus resultados como livro basilar para física da posteridade. Sua relevância epistemológica foi estudada por autores como Mach, e seus fundamentos metafísicos podem ser encontrados em autores os mais diversos, como G. W. F. Hegel (1770 - 1831) e Cristian Von Wolf (1679 - 1754). Em contraste com o que estive a dizer até aqui, o cientista consciencioso admitiu em seu arcabouço conceitos que chamam a atenção para a constituição de uma metafísica, como é o caso do conceito de espaço e tempo. Não foi Newton um homem cético ou antiespiritualista, era apenas convencido de que a ciência podia ser construída, para a explicação de fenômenos físicos, sem a interação de elementos inobserváveis. Apesar disso, assiná-lo aqui a sua atitude realista no que diz respeito à física que erigia, pois admitia sem ressalvas a existência de entidades como luz, éter, força, átomos, etc... Mas o espaço, não obstante a sua utilidade para os *Principia*, parece pertencer ao seu escopo como uma admissão entre o que satisfaz o rigor observacional e o que não pode satisfazê-lo. Em verdade, o espaço não o pode (pelo menos não diretamente), mas, não por isso, Newton deixa de se referir a ele como uma realidade, um absoluto. Como entendê-lo no contexto da doutrina newtoniana? O espaço pertence ao sistema de Newton como um dos conceitos fundamentais, tal como o tempo, os corpos, a chamada força - elemento responsável pela ação à distância no efeito gravitacional. Em Newton vale destacar que esses conceitos aparecem não como abstrações matemáticas, mas como fundamentalmente reais, entidades no mundo físico com propriedades físicas. Nos *Principia*, o autor não define rigorosamente o que seja o espaço e o tempo. Contudo, evitando que se pense sobre ele de modo não conveniente, define distinções entre o real e o aparente, o matemático e o comum, o absoluto e o relativo (Jammer, 2010, pg. 135). Em Newton, é possível falar em um espaço que seja absoluto e relativo, em diferentes aspectos para finalidades em uma doutrina cinemática e dinâmica:

Como as partes do espaço não podem ser vistas nem distinguidas entre si por nossos sentidos, usamos medidas sensíveis delas. Assim, pelas posições e distâncias das coisas em relação a qualquer corpo considerado imóvel, definimos todos os lugares, estimamos todos os movimentos, consideramos que os corpos se transferem de alguns desses lugares para outros. Assim, em vez de lugares e movimentos absolutos, usamos os relativos; isso não tem nenhum inconveniente nos assuntos comuns. (Newton, pg. 8).

O espaço absoluto, também chamado espaço “verdadeiro”, para o autor dos *Principia* era uma lógica e ontológica necessidade. A física contemporânea, segundo algumas interpretações, entende o sistema de coordenadas como uma ficção útil, mas em verdade não era assim que Newton o entendia. Por que Newton - cuja metodologia parecia ser contrária a suposições que não pudessem ser evidenciadas - foi justamente o autor a introduzir o espaço como uma necessidade de que seu sistema não podia prescindir? Sua necessidade pode ser pensada colocando-se em reflexão a enunciação da primeira lei do movimento: “todo corpo preserva o estado de repouso ou de movimento uniforme em linha reta, a menos que seja compelido a modificar esse resultado por forças imprimidas sobre ele (Newton, pg. 13)”. A necessidade de introduzir tal conceito, para além da possibilidade de experiência direta, é a exigência newtoniana de que havia algo como um repouso absoluto e um movimento absoluto, pois sua determinação era algo que podia ser feito por referência ao espaço absoluto enquanto referencial privilegiado. Determinar o movimento absoluto parece exigir que um referencial absoluto seja adotado, pelo que podemos entender a posição de Newton sem maiores dificuldades. Como o espaço absoluto, até então um aspecto um pouco exotérico no arcabouço dos *Principia*, não se mostrava apto à experiência ordinária, o estudo da dinâmica dos corpos fez-se necessário, pelo que teríamos, no movimento rotacional, a experiência da força centrífuga a mostrar a plausibilidade da manutenção de conceitos absolutos na física newtoniana (Jammer, 2010, pg. 140-145). A crítica possível a esse tipo de postulado era de origem empirista, como se vê em George Berkeley (1685-1753):

Isso resulta de uma evidência simples: conforme os princípios daqueles que introduzem o movimento absoluto, nada nos permite saber se a totalidade das coisas está em repouso ou em movimento retilíneo uniforme; logo, não se pode conhecer o movimento absoluto de nenhum corpo. (Luce e Jessop, 1951, pg. 28).

O empirismo e o espírito positivista, que posteriormente veio a dominar boa parte do século XIX, foram os inimigos do espaço absoluto e, ainda hoje, como pretenderei mostrar adiante, uma parte das objeções contra o substantivismo se arvora na premissa que podemos chamar empirista, e não é sem razão atribuir ao berkelianismo um espírito semelhante e precursor. Trata-se de uma antimetafísica concepção do que deve ser fornecido nas teorias da ciência e na ontologia filosófica: resultados e objetos puramente observacionais, por razões de economia e sob pena de criar, com uma ontologia inflacionada, ficções filosóficas dispensáveis em se construindo uma teoria mais “minimalista”. Para Berkeley a “ficção” newtoniana podia ser substituída por uma relação entre o movimento e um quadro de referência, que podia ser identificado com as “estrelas fixas”. Embora a crítica de Berkeley possua semelhança com a que foi empreendida por Mach, Berkeley teve seu alcance limitado à percepção do movimento e sua compreensibilidade, praticamente ignorando seu aspecto dinâmico. O aspecto dinâmico, como veremos, foi profundamente analisado por Mach na Ciência da Mecânica, obrigando-o a confrontar-se com as leis do movimento e os corolários newtonianos que, como foi sugerido acima, a exemplo da formulação da primeira lei do movimento, parecem exigir conceitos absolutos:

Por estes motivos concordamos com Jammer quando afirmou que Berkeley se limitou ao problema da percepção e compreensibilidade do movimento, ignorando neste contexto o aspecto dinâmico do problema, (Jam 2010, pág. 146). Mas mesmo se estas fossem as interpretações corretas de suas ideias, Berkeley não as implementou quantitativamente. Isto é, ele não apresentou uma lei de força específica mostrando que quando mantemos os globos ou a água em repouso (por exemplo, em relação à Terra ou a um observador material) e giramos o céu de estrelas fixas (novamente em relação a Terra ou a um observador material), que então vai aparecer uma força centrífuga real criando a tensão na corda e empurrando a água contra as paredes do balde devido a esta rotação relativa. Ele também não mencionou a proporcionalidade entre inércia e o peso, ou entre as massas inerciais e gravitacionais. Não chegou nem mesmo a sugerir que a força centrífuga poderia ser devido a uma interação gravitacional do corpo de prova com a matéria distante. (Assis, 1998, pg. 121-122).

As críticas de Berkeley podem ser encontradas em dois de seus textos, momentos em que, respectivamente, apresenta a admissão única de grandezas relativas, o espaço relativo e o movimento relativo. Nas seções 97 a 99 e 110 a 117 de seu *Tratado sobre os princípios do conhecimento humano*, de 1710, empreende pelas razões empiristas de sua epistemologia um ataque aos conceitos Newtonianos. O conceito de movimento absoluto foi criticado nas seções 52 a 65 de seu *Sobre o movimento – o princípio e a natureza do movimento e a causa da comunicação dos movimentos*. Mais especificamente, se pode dizer desses trabalhos que eles são uma antecipação filosófica dos trabalhos de Mach sobre mecânica relacional, sem apontar, contudo, para as soluções dinâmicas deste autor e para as razões empíricas oferecidas pela mecânica relacional:

Hoje em dia sabemos que se há uma rotação entre estes dois sistemas de referência (o inercial e o das estrelas fixas), ela é menor do que 0,4 segundos de arco por século (...). Poucos fatos na física têm uma precisão de uma parte em 1011 como aqui (outro exemplo, como vimos anteriormente, é a proporcionalidade entre a massa inercial e o peso). Este é um dos pilares empíricos mais fortes a favor do princípio de Mach. É difícil aceitar este fato como uma simples coincidência. Como já vimos, este fato é equivalente à afirmação de que o Universo como um todo (o conjunto das galáxias) não gira em relação ao espaço absoluto. Este fato sugere que é a matéria distante que determina e estabelece o melhor referencial inercial. Se é este o caso, precisamos entender e explicar esta conexão entre a matéria distante e os sistemas inerciais locais. (Assis, 1998, pg. 126).

O princípio de Mach pode ser assim enunciado: a inércia de qualquer corpo é determinada pela distribuição das massas no Universo. Um leitor atento e conhecedor de passos fundamentais em física poderá antever a influência que tal princípio teve sobre Einstein, para citar um exemplo do alcance e sucesso dessa crítica. Mas, se não for mencionada toda a motivação e influência newtonianas, talvez nos falte algum elemento de compreensão importante, sobretudo para uma consideração preliminar em que as doutrinas são apresentadas. Acima, ressaltavam-se os aspectos epistemológicos e metafísicos das realizações dos *Principia*, mas é preciso observar ainda a questão pelos aspectos teológicos de sua doutrina, antes de dissertar sobre o relacionismo leibniziano. Isso é importante porque uma boa parte do confronto entre doutrinas é teológico. Em

verdade, o debate intermediado por Samuel Clark (1675-1729) teve importantes passagens teológicas, mostrando parte do que animava a já conhecida interdisciplinaridade entre metafísica, teologia e filosofia natural. Das influências para o autor dos *Principia*, além de seu mestre Isaac Barrow, podem ser citados, com base no contexto da época e nas ocasiões textuais disponíveis, uma variedade de autores e ideias místicas. Jammer aponta a inequívoca influência de um texto de Henry More (1614 - 1687), uma das maiores que recebeu, sobretudo nas considerações acima, que podem ser ouvidas como eco do *Enchiridion Metaphysicum* (1649) e dos *Diálogos Divinos* (1668). Os conceitos de infinito, isotropia e homogeneidade foram encontrados em autores como Francesco Patrizi ⁷ (1529 - 1597), Tomaso Campanella ⁸ (1568 - 1639) e Pierre Gassendi ⁹ (1592 - 1655); e as ideias de More haviam sido publicadas pelo menos sete anos antes do surgimento dos *Principia*. Jammer também aponta para influências como a cabala judaica e o neoplatonismo (pg. 147). Barrow, na qualidade de professor de Newton, deve tê-lo influenciado com ideias sobre geometria e matemática (*Mathematical lectures*), nas leituras que realizava do celebrado professor More, conhecedor do judaísmo e neoplatonismo a que me referia. Por exemplo, é de Barrow a ideia de que a onipresença divina é o espaço, ou pelo menos uma expressão do mesmo, como o tempo é expressão legível da eternidade de Deus. Somando a isso o interesse do nosso autor por assuntos teológicos em idade avançada, tem-se uma ideia de como são inseparáveis, neste autor, a filosofia natural e a teologia, bem como essas duas e o que se pode chamar metafísica, principalmente ao século em que nos fala Newton. A sentença newtoniana de que o espaço é o *Sensorium Dei* para a percepção do mundo, somada ao que acima foi escrito, faz o sentido dessa compreensão. Com efeito, as consequências teológicas para a defesa do newtonianismo são muito importantes. Terei ocasião para pensar o estatuto dessas questões em Leibniz e suas críticas ao *Sensorium*, na qualidade de absoluto. Por ora faço destaque a Berkeley, mais uma vez, apenas para continuar a explorar aspectos do que animava a divergência entre esses filósofos. Era da

⁷Patrizzi, F. (*Nova de universis philosophia libris quinquangita comprehensa 1593*).

⁸Campanella, T. (1635-1638).

⁹"Ideo Videntur Locus e Tempus non pendere a corporibus, corporea que adeo accidentia non esse" (Gassendi, P. (Florença 1727). Assim eles, o Lugar e o Tempo, não dependem dos corpos e do corpóreo, tal que não são acidentes destes.

opinião de Berkeley que Deus é absoluto, indivisível, incriado, imutável e eterno ¹⁰. Se o espaço à maneira de Newton fosse aceito, algo além de Deus havia de possuir as qualidades mencionadas. Após a digressão para o conhecimento de implicações do absolutismo no XVII, fica a hipótese de que entender a primeira lei de Newton como um caminho para encontrar a sua motivação, em virtude do papel que desempenha o espaço absoluto na mesma, leva-nos em direto para o aspecto dinâmico do seu argumento, celebrado como uma das grandes conquistas intelectuais dos *Principia*. Os passos que realizarei abaixo são inspirados na leitura de Ray (1991 pg. 137, 138), e são uma tentativa de sondar a doutrina do espaço absoluto para entender-lhe as razões preferências:

a) A experiência geral autoriza dizer que forças inerciais e rotação são correlacionadas; de que se conclui que toda rotação, por exemplo, é dotada de forças que são inerciais.

b) A experiência imaginária das esferas em rotação (dois globos ligados por um fio, em ocasião de forças inerciais envolvidas, haveria de denunciar sua condição por meio de uma tensão que se distribuiria ao longo do fio, tensão essa perfeitamente observável) permite verificar, em um espaço vazio, em se abstraindo de tudo o mais, a aceleração referente ao sistema por meio da tensão ao longo do fio.

c) Se houver tensão, ficando claro que não há a que considerar relativo o movimento, podemos com razão fazer a admissão de que o sistema acelera absolutamente, ou seja, acelera em relação ao espaço em si.

¹⁰Aqui, a palavra eternidade pode ser usada como sinônimo de perpetuidade. Faço essa ressalva para diferenciar a *eternidade* (enquanto tempo) da eternidade (pensada enquanto categoria atemporal). Assim, ser eterno significa existir em todo o tempo, diferentemente do sentido que a eternidade assume na obra de Boécio, por exemplo.

d) Quando há e quando não há tensão ao longo do fio, ainda assim, as posições relativas sempre continuam as mesmas no sistema em rotação que é considerado.

e) Tal resultado pode ser sugerido como uma interação entre o espaço absoluto e o sistema proposto pelo experimento.

f) Por essa razão o espaço é considerado elemento irreduzível para uma explicação física da matéria e das forças, é absoluto, portanto.

Esse é o aspecto que se pode dizer mais problemático para o relacionismo: o movimento absoluto, as razões dinâmicas de seu argumento. O leibniziano é capaz de negar o absolutismo sem negar o movimento absoluto? Seria possível negar a intuição newtoniana de que há algo como um movimento verdadeiro? Mesmo Leibniz via-se obrigado a reconhecer o desconforto que causava pensar o estado de repouso e o estado de movimento, quando a distinção newtoniana não é adotada:

Entretanto, admito que há uma diferença entre o movimento verdadeiro absoluto de um corpo e a mera mudança relativa de sua situação em relação a outro corpo. Pois, quando a causa imediata da mudança está no corpo, esse corpo está verdadeiramente em movimento... (Apud Jammer, 2010, pg. 156).

Parece mesmo haver uma séria dificuldade a se resolver, pois, efetivamente, o movimento absoluto exigia um referencial que, neste caso, identificava-se como espaço. A primeira lei do movimento e o estado de “repouso absoluto” de um corpo fazem o mesmo, exigindo-o enquanto referencial privilegiado. Como pretende Leibniz escapar a essa dificuldade?

Por um lado, ele podia denotar a mudança puramente espacial de situação, o que salvava o ponto de vista leibniziano sobre a estrutura conceitual do espaço; por outro, podia significar um processo dinâmico independente do espaço como tal. Mas Leibniz sabia que esse estratagema o expunha ao risco de ter de recair em conceitos escolásticos duvidosos, como qualidade, forma e substância. (Jammer, 2010, pg. 156).

Antes de considerar mais propriamente o tratamento aventado por Leibniz, gostaria de chamar a atenção para um importante autor que esteve a discutir essas questões. Em parte suas razões apontam para uma afinidade com o newtonianismo, mas sobre o caráter relativo do movimento, parecia não haver muita dúvida (Ray, 1951, pg. 148). Em 1695, pouco depois de as ideias dos *Principia* terem sido lançadas, discutia a exigência dessa questão com Leibniz, e ambos alegavam tê-la resolvido. Primeiro, é preciso reconhecer a existência do problema. Como se deve explicar a força inercial? Segundo, não se pode abrir mão do caráter relacional envolvido em todo sistema inercial. Mas então, como não fazer a admissão newtoniana? Os autores parecem bastante convencidos de que a estratégia newtoniana fracassa. Alegam, para esse caso, que o movimento é sempre relativo. O autor em questão é Cristian Huygens (1629-1695). Sua solução passa pela reformulação do problema do movimento rotacional. Seja considerado um sistema inercial, digamos, uma roda com um objeto ao seu centro como parte de um sistema em rotação. Existe nesse caso rotação absoluta? Huygens simplesmente admite que todo movimento é relativo, alegando para isso que nesse sistema o movimento das partes é relativo, cada uma entre si! Há algo, contudo, nessa resposta, que não se faz verdadeiramente convincente. O que foi empreendido por Newton considera um caso mais desafiador, e Huygens falha em considerá-lo, pois, da forma como vem pensar a questão, faz parecer que o efeito dinâmico desapareceria ao se considerar um sistema de coordenadas que tivesse a mesma velocidade angular e a mesma origem que o disco em rotação, mas ocorre que a “pressão” exercida pelas forças centrífugas não podia deixar de existir, razão pela qual falha Huygens em realizá-lo, apesar de estar correto na intuição básica, que está de acordo com o princípio de relatividade na cinemática e na dinâmica, com duzentos anos de antecedência (Jammer, 2010, pg. 162 – 163). Assim como um corpo material pode exercer influência sobre outro, o espaço e o tempo, absolutamente considerados, são o elemento explicativo irredutível para a questão das forças inerciais envolvidas no chamado “movimento real”, pois exercem uma influência real e perceptível no movimento absoluto dos corpos. Logo, como nos diz Samuel Clarke em debate continuado até o fim da vida de Leibniz, o tempo, o espaço e a matéria são reais, entidades irredutíveis a atuarem no mundo. O desafio proposto pelo teólogo e filósofo inglês é expresso assim: como se pode explicar a existência de forças em alguns corpos e sua inexistência em outros sem recorrer ao absolutismo newtoniano? A resposta de Leibniz é considerada obscura, embora seja hoje retomada por Sklar:

Suppose we accept the existence of absolute motions in the following sense: (1) We admit that systems in relative motion with respect to one another can differ in that in these different systems varying inertial forces will be experienced (2) We agree that we cannot account for these forces in terms of the differing relative motions of the systems with regard to some material entities in the universe, for, in disagreement with Mach and in agreement with Newton, we accept the conclusion that test systems in motion with respect to one another would feel such differing inertial forces even in the possible world in which the remaining mass of the universe were annihilated, and, in this imagined world, we agree that varying forces cannot be accounted for in terms of the relative motion of the small, widely separated test systems with respect to one another. Having made these assumptions, are we then committed to the acceptance of a “real” spacetime existing over and above admittedly existing material objects and their admitted spatiotemporal relation to one another? The answer is negative. We can countenance absolute motions without countenancing substantial spacetime. We can, in fact maintain a consistent theory that is pure relationist with regard to spacetime, relationist enough to fit the most hard-nosed verificationist, and the yet postulates absolute motions. How on earth can this be done? The answer is somewhat surprising. To maintain the relationist doctrine of space and time in the face of the acceptance of absolute motions, what we must do is deny that the predicate “is absolutely accelerated” is a relational term! The expression “A is accelerated” is incomplete. To complete it we must answer the question, “Relative to what is A accelerated?” But the expression “*A is absolutely accelerated*” is a complete assertion, as is, for example, “*A is red*”, “*A is bored*”, and unlike “*A is north to*”.

(Sklar, 1974, pg. 229 -230)¹¹.

¹¹Supondo que aceitemos a existência do movimento absoluto no seguinte sentido: (1) Nós admitimos que sistemas em movimento relativo possam apresentar uma diferença inercial de forças experimentadas (2) Nós concordamos que não podemos entender essas forças em termos de diferenças relativas de movimentos, tal como Mach, e, em concordância com Newton, nós aceitamos a conclusão de que sistemas em movimento relativo podem diferir nos efeitos inerciais apresentados. Mesmo em um mundo no qual a matéria seja aniquilada, experimentaríamos tais forças e, neste mundo imaginário, não poderíamos, portanto, atribuir essas diferenças a movimentos relativos entre suas partes, quando muito separadas umas das outras. Uma vez feita essa admissão, é preciso que aceitemos a existência real do espaço-tempo, independentemente da matéria existente e das relações que se estabelecem entre objetos? A resposta é negativa. Nós podemos aceitar o movimento absoluto sem aceitar o substancial espaço-tempo. Uma teoria puramente relacional do espaço-tempo, capaz de satisfazer a mais dura exigência verificacionista, pode, no entanto, ser consistente com a admissão de movimento absoluto. Como isso pode ser aceito? A resposta é algo surpreendente. Para a manutenção da doutrina relacional do espaço e do tempo, mesmo em face à aceitação do movimento absoluto, precisamos

Sklar convence-se de que o predicado “estar em movimento” pode ser absoluto e, se absoluto, não exige o espaço e tempo newtonianos. Se em um mundo possível imaginado há um sistema acelerado, e, esse sistema não pode se reportar a algum outro a partir do qual podemos obter conhecimento de que sua aceleração é real, não precisamos, ao considerar essa sorte de eventos, ou adotar o espaço absoluto ou negar o movimento verdadeiro nesse sistema. O que Sklar pretende é negar o relacionismo como uma doutrina que tem de rejeitar o movimento absoluto pela razão de que o movimento só pode ser dito real (em sentido newtoniano) se, a partir de um sistema de coordenadas, for estabelecida sua mudança relacional de situação. O relacionismo pode sê-lo enquanto proposta ontológica sobre o espaço e tempo, mas, como o movimento absoluto não exige coordenadas espaço temporais que, ainda assim, podem ser admitidas como ficção útil ou, se preferirem, espaço e tempo podem ser admitidos como “seres de razão”, tal qual Leibniz se pronuncia a respeito; então, é possível não haver contradição entre uma doutrina mecânica na qual há movimento absoluto, e o espaço é dito apenas relação entre partes envolvidas no movimento. Muitos não estão convencidos de que a proposta leibniziana não é contraditória. Primeiro, porque não é claro que o movimento absoluto possa ser admitido se for imperceptível e, ainda que perceptível pelas forças inerciais envolvidas (como no exemplo do balde nos *Principia*), permanece essa proposta, pelo menos em sua versão mais desenvolvida, em Sklar, devedora de que aceitemos na natureza do movimento certos “fatos brutos”, a partir dos quais se pode diferenciar a atuação das forças inerciais absolutas como se fossem um *primum mobile*; como Leibniz soube bem reconhecê-lo. No mundo monádico leibniziano, há apenas mônadas (metafísica leibniziana) e no domínio dos corpos há apenas matéria (domínio físico). Isso implica claramente em reducionismo, ou seja, esse autor é responsável pela redução dos fenômenos espaciais e temporais a objetos físicos cuja realidade última são mônadas. A posição de Sklar parece ser um desenvolvimento da obscura resposta leibniziana. Em seu texto, “Specimen Dynamicum¹²” (1695), o autor da Monadologia nos diz o seguinte:

entender que o predicado “é um movimento absoluto” não deve ser aceito como se fosse relacional. A expressão “A está acelerado” é incompleta. Para que ela seja completada nós teremos que responder à questão “Relativamente a que A acelera?”. Mas a expressão “A está absolutamente acelerado” é uma asserção completa, como, por exemplo, são completas as expressões “A é vermelho”, “A está entediado”, contrariamente à expressão “A está ao norte de...” (tradução minha).

¹²“Um exemplar de dinâmica”.

Temos de perceber, acima de tudo, que força é algo absolutamente real nas substâncias, mesmos nas substâncias criadas, enquanto que espaço, tempo e movimento são, até um certo ponto, seres da razão [do intelecto] e que são verdadeiros ou reais, não por si mesmos [per se], mas apenas até o ponto que eles envolvem ou atributos divinos (imensidão, eternidade, a habilidade de realizar trabalho), ou a força nas substâncias criadas. Disto segue imediatamente que não há lugar vazio e [não há] momento de tempo vazio. Além do mais, segue que movimento considerado separadamente da força, isto é, o movimento considerado até o ponto em que contém apenas noções geométricas (tamanho, forma e suas mudanças), não é realmente nada além da mudança de situação e, além disto, no que diz respeito aos fenômenos, movimento é uma relação pura, algo que Descartes também reconheceu ao definir o movimento como uma translação das vizinhanças de um corpo para as vizinhanças de outro. Mas ao tirar consequências disto, ele esqueceu sua definição e estabeleceu as leis do movimento como se o movimento fosse algo real e absoluto.

Portanto, temos de considerar que quaisquer que sejam as maneiras como muitos corpos possam estar em movimento, não podemos inferir a partir dos fenômenos quais deles têm realmente movimento absoluto e determinado, ou [estão em] repouso. Ao invés disto, podemos atribuir o repouso a qualquer um deles que escolhermos e ainda assim resultarão os mesmos fenômenos. (...) E na verdade, isto é exatamente o que experienciamos, pois sentiríamos a mesma dor se batemos nossa mão contra uma pedra em repouso, suspensa, se quiser, por um fio, ou se a pedra batesse contra nossa mão em repouso com a mesma velocidade. Contudo, falamos como requer a situação, de acordo com a explicação mais apropriada e mais simples dos fenômenos. É exatamente neste sentido que usamos a noção do *primum mobile* na astronomia esférica, enquanto que no estudo teórico dos planetas temos de usar a hipótese copernicana. Como uma consequência imediata deste ponto de vista, aquelas disputas realizadas com tanto entusiasmo, disputas nas quais mesmo os teólogos estiveram envolvidos, desaparecem completamente. Embora força seja algo real e absoluto, o movimento pertence aos fenômenos e às relações e temos de procurar a verdade não tanto nos fenômenos quanto em suas causas. (Leibniz, 1695, pg. 125).

Leibniz estava convencido a tratar o movimento como relativo e a entender o que em Newton era o movimento real como uma espécie de disposição própria da matéria. A noção em Leibniz é obscura e problemática. Os comentadores da filosofia relacionista têm percebido que é preciso abandonar o movimento absoluto, aceleração absoluta, espaço absoluto e, portanto, a noção leibniziana de força absoluta não é plenamente consequente:

Ao mesmo tempo em que defende uma teoria relacional de espaço e tempo, Leibniz parece dar algum valor absoluto ou real para a força ou para a energia cinética. Isto é de certa forma contraditório. Ele também não explicitou claramente quais eram suas razões para acreditar que não há exceções para a lei geral de equivalência (para a teoria relacional). (Assis, 1998, pg. 111).

O princípio de relatividade parece sugerir que o movimento é sempre relativo por uma razão simples: não é possível para um corpo em movimento saber-se em movimento, se não se percebe acelerado em relação a algum outro sistema. Newton não estava disposto a conceder que pudesse haver movimento absoluto sem a admissão de um sistema de referência absoluto a partir do qual se pudesse dizer que o corpo está em movimento. Seu experimento mental concebido nos *Principia* põe a questão pelas forças envolvidas, e o resultado inercial parece indicar haver movimento, sem que se pudesse reportar a outro sistema que não o espaço. É esse o desafio que vem procurando responder os filósofos interlocutores de Newton, em estratégias que pretendem preservar o mundo físico da “monstruosidade conceitual do espaço absoluto (*Begriffsungentüm des Absolutem Raumes*)”, como ao conceito newtoniano se referia Mach na sétima edição alemã de seu mais importante livro:

Eu não poderia extrair nada dessas monstruosidades conceituais, o espaço absoluto e o tempo absoluto. Apenas mostrei, mais claramente que em textos anteriores, que Newton falou bastante sobre eles, mas não fez nenhuma aplicação séria deles. Seu corolário V (*Principia* pg. 19) apresenta o único sistema inercial que pode ser usado na prática. (Mach, E, 1912).

O conceito de movimento absoluto sem espaço absoluto não é de todo satisfatório. Newton e Clarke nem sequer questionam o caráter relacional do movimento, apenas percebem a exigência por um sistema de coordenadas como um referencial não relativo,

e é essa a grande força que logrou ao absolutismo de Newton uma posteridade e longevidade, capaz de fazê-lo sobreviver mesmo à física relativista do século XX, apesar da promessa de tê-lo derrotado definitivamente. Ora, se o movimento é essencialmente relativo (relativo a corpos materiais) e a existência de forças inerciais (a exemplo das forças centrífugas) envolvidas é suficiente para dizer haver movimento, então o espaço em si mesmo deve ser real e aceito como atuante nos eventos físicos (porque é elemento explicativo na consideração das forças atuantes no movimento absoluto):

As in new-Newtonian, neo-Newtonian, and special-relativistic accounts, this spacetime is taken to be a real constituent of the world with real features in its own right, and not, at least *prima facie*, a convenient fictions for the set of spatiotemporal relations among material objects. As in the neo-Newtonian and special-relativistic theories, and as opposed to the new-Newtonian account, this “entity of reference” for absolute accelerations is not a *thing*, an object in space and persisting through time, but rather a spacetime collection of events locations. (Sklar, 1974 pg. 228)¹³.

...

To the neo-Newtonian, special-relativist and general relativist, the entity toward which accelerations are absolute accelerations is the geodesic structure of spacetime. (Sklar, 1974, pg. 229)¹⁴.

Mais adiante, quando da passagem dessa questão para um contexto mais contemporâneo, terei de avaliar a perspectiva positivista sobre isso com algum ceticismo quanto a seu elemento decisório, de inspiração machiana. Parece ser relevante se perguntar não somente visando o argumento dinâmico levado a cabo pelo autor dos *Principia*, mas pela importância de elementos como grávitons, o éter no contexto da relatividade geral, o papel unificador que o conceito de espaço-tempo tem para a

¹³Tal como o “new-Newtonian”, o “neo-Newtonian” e a relatividade especial relatam, este espaço-tempo é considerado um componente real do mundo, com características próprias que são suas de direito. Não é, pelo menos *prima facie*, uma ficção conveniente relativa ao conjunto de relações entre objetos materiais. Como nas teorias “neo-Newtonian” e na relatividade especial, e ao contrário do “new-Newtonian”, a “entidade de referência” para acelerações absolutas não é uma coisa ou um objeto que persiste ao longo do tempo, mas sim uma coleção de “pontos” no espaço-tempo. (tradução minha).

¹⁴Para o “neo-Newtonian” adepto da relatividade especial e geral, há uma entidade a respeito da qual a aceleração é absoluta: a geodésica estrutura do espaço-tempo. (tradução minha).

compatibilidade entre eletromagnetismo e gravitação, como faz notar Michael Friedman (1983). Por ora, é preciso observar de que se alimenta a crítica relacionista. Berkeley, Leibniz e Mach têm em comum uma vigorosa crítica, mas por razões que se diferem. Da parte de Leibniz, suas razões são baseadas no *princípio de razão suficiente* e na *indiscernibilidade entre idênticos*, mas são essencialmente teológicas. Assim pode ser reconstruído o cerne da crítica leibniziana.

O princípio de razão suficiente – nada jamais acontece se para isso não há uma razão que lhe seja suficiente – une-se ao princípio da indiscernibilidade entre idênticos – segundo a qual não pode haver dois seres idênticos, pois, se houvesse, Deus não teria uma razão suficiente pela qual pudesse discerni-los racionalmente – para questionar o status do espaço e tempo newtonianos. Como faria um Deus racional a escolha pelo momento da criação ou pelo lugar em que deveriam habitar as coisas existentes no universo? Parece que Deus poderia ter construído qualquer Universo em qualquer tempo, que lhe seria absolutamente indiferente se o fizesse, tornando a criação demasiado irracional, no sentido de que para criá-la quando o fez Deus não precisou de uma razão. Esse é o caso para um Universo absolutista, em que o espaço é newtoniano, pois se o Universo é leibniziano, Deus procede utilizando-se de estabelecer relações entre a matéria e nada mais do que isso. O chamado “*hole argument*” deve muito ao desafio teológico leibniziano, porém dele trataremos mais tarde. Essa é a razão pela qual em alguns círculos se está a traduzir o “*hole argument*” por argumento neo-leibniziano, em virtude do inquietante elemento de indeterminação que a impossibilidade de distinguir uma porção do espaço de outra acrescenta, comparativamente ao que se torna, na objeção dos filósofos de Pittsburgh ¹⁵, muitos possíveis espaços e disposições realizáveis pelas equações da relatividade geral (equações deterministas que, segundo uma consequência que é própria da metafísica substantivista, permitem ao Universo um resultado indeterminista, razão pela qual o substantivismo é inaceitável), todos representativos de um mesmo mundo. À parte as razões teológicas e a inquietação trazida por Leibniz, a crítica mais tenaz ao absolutismo veio mesmo de uma tradição empirista e sua antimetáfísica orientação para as ciências. Os passos dessa desafiante crítica serão agora reconstruídos.

¹⁵Aqui me refiro aos filósofos de Pittsburgh, a quem se deve a grande contribuição na questão do buraco, bastante discutida pelos relacionistas de hoje. São eles, sobretudo, John Norton e John Earman.

A objeção machiana é construída sobre dois aspectos fundamentais: a preservação da simplicidade ou princípio de economia e o desejo de permanecer dentro do âmbito de uma ciência puramente observacional. Como se vê, para tal autor, era necessário mostrar que as teorias físicas podiam prescindir do espaço e do tempo newtonianos. O próximo passo era construir uma física para a qual o espaço e o tempo fossem apenas um elemento instrumental, sem compromisso ontológico com essas entidades. Ray C. argumenta que o papel de Mach na história dessa questão foi o de um “*agent provocateur*” (1993, pg. 160). Diz que é a crítica machiana dignatária de respeito, mas essencialmente negativa e incapaz de provar esse segundo passo. Para realizá-lo plenamente, bastava que fosse hábil em relegar ao espaço um papel “instrumental” – um papel unificador nas teorias, como corpo de referência para a explicação física de fenômenos, sejam mecânicos e/ou eletromagnéticos; contudo, sem compromisso ontológico de nenhum tipo, ou seja, sem a adoção de uma perspectiva realista a esse respeito. Por papel instrumental me refiro mais explicitamente à função unificadora e simplificadora que os conceitos newtonianos deixam como herança à ciência. A possibilidade de “não compromisso ontológico”, sem, no entanto, abandonar o uso desses conceitos, é o que significo por papel “instrumental”, e se o relacionista mostrar ser possível realizar uma unificação por meio do uso dirigido desses conceitos, sem um compromisso forte e realista com a existência do “espaço em si”, poderá então responder a determinadas críticas, como aquelas empregadas por Friedman (1983). Mas, em se tratando do projeto de Mach, não conseguiu convencer pela adoção única de conceitos relativos (pois a vantagem unificadora que esses conceitos têm desaparece no tratamento relacional), nem tampouco mostrou como podíamos continuar a tratar o espaço e o tempo de modo a aproveitar do potencial simplificador e unificador dos mesmos, sem qualquer compromisso realista. Mas isso não significa que esse autor é secundário no debate. Já foi mencionado neste capítulo que Einstein foi fortemente influenciado por ele, quando da ocasião em que o princípio de Mach foi apresentado. Ainda hoje subsiste a questão pela teoria dinâmica que não precise de nenhuma referência ao espaço e tempo como sendo um “*per se*”, e relegar essas entidades a um papel instrumental não é óbvio, incorrendo em acusações de ser, possivelmente, um resultado disposto por preconceitos empiristas. Um dos méritos de Mach foi ter tentado solucionar a questão da referência ao espaço absoluto alegando que se pode sempre, nas circunstâncias reais com a qual é dado ao físico trabalhar, sem a extravagância imaginária de supor um Universo consistido unicamente de um sistema de referência,

posicionar-se dizendo ser o movimento relativo a um referencial no centro de gravidade do Universo como um todo, ou, como isso ficou conhecido, às “estrelas fixas” machianas. Isso exigia a construção de uma nova mecânica. Se uma nova mecânica não fosse erigida desde suas bases, seria impossível que alguma alternativa relacionista se tornasse relevante. É por isso que Mach teve que propor a substituição do newtonianismo, e não um simples abandono do espaço e tempo newtonianos. A lei da inércia, por exemplo, sobre a qual tenho me referido, traz consigo o problema de considerar o movimento retilíneo uniforme sem o espaço absoluto como sistema de coordenadas privilegiado. A que sistema um corpo em tal situação de movimento estaria se referindo? (se não se aceita, ao contrário de Sklar, que possa haver movimento absoluto, fazendo ou não a admissão pelo espaço absoluto). Na versão machiana, grande suscitadora do chamado princípio de Mach, o Universo como um todo se torna o referencial apto a qualquer atividade dinâmica:

O comportamento dos corpos terrestres em relação à Terra é reduzível ao comportamento da Terra em relação aos corpos celestes remotos. Se fôssemos defender que sabemos mais dos objetos móveis do que este seu último comportamento, dado experimentalmente em relação aos corpos celestes, nos tornaríamos culpados de falsidade. Quando, conseqüentemente, dizemos que um corpo mantém inalteradas sua direção e velocidade no espaço, nossa afirmativa não é nada mais nada menos do que uma referência abreviada a todo o universo. (Mach, 1883, 285-286).

(...)

Tenho um outro ponto importante a discutir agora contrário a C. Neumann, cuja publicação bem conhecida sobre este tópico precedeu a minha por pouco tempo. Defendi que a direção e velocidade que são levadas em conta na lei da inércia não têm significados compreensíveis se a lei se referir ao “espaço absoluto.” De fato, só podemos determinar metricamente a direção e velocidade num espaço no qual os pontos são diretamente ou indiretamente marcados por corpos dados. O tratado de Neumann e o meu próprio tiveram sucesso em chamar nova atenção para este ponto, que já tinha causado muito desconforto intelectual a Newton e a Euler; apesar disto não resultaram nada mais do que tentativas parciais de solução, como aquela de Streintz. Permaneço até o dia de hoje como a única pessoa

que insiste em referir a lei de inércia à Terra e, no caso de movimentos de grande extensão espacial e temporal, às estrelas fixas. (Mach, 1883 pg. 336 -337).

Como pretendi que ficasse claro desde o início, a reformulação da mecânica exigia um abandono do newtonianismo que fosse além da simples negação de espaço e tempo em uma ontologia. Da forma como ficou referido no exemplo da primeira lei do movimento, há um compromisso ontológico já na definição, fazendo do resultado físico algo cujo compromisso com essas entidades inobserváveis é evidente. Por essa razão a consecução da mecânica reformulada exigia a redefinição dos corolários dos *Principia*. Hoje se considera essa reformulação um passo bastante adiantado em relação aos esforços de relacionistas como Leibniz e Berkeley, embora incompleto. Seguem-se as definições machianas, tal como apresentadas pela primeira vez em 1868 e depois reformuladas para o seu famoso livro, apresentadas aqui como em 1883, pg. 303-304:

Mesmo se aderimos absolutamente aos pontos de vista newtonianos e deixamos de lado as complicações e características indefinidas já mencionadas, que não são removidas mas apenas disfarçadas pelas designações abreviadas de “Tempo” e “Espaço,” é possível substituir os enunciados de Newton por proposições muito mais simples, melhor arrançadas metodicamente e mais satisfatórias. Tais proposições seriam as seguintes, em nossa opinião:

a) *Proposição experimental*. Corpos colocados em frente um do outro induzem em cada um, sob certas circunstâncias a serem especificadas pela física experimental, acelerações contrárias na direção da linha que os une. (O princípio da inércia está incluído aqui).

b) *Definição*. A razão de massas de quaisquer dois corpos é o negativo da razão inversa das acelerações mutuamente induzidas destes corpos.

c) *Proposição experimental*. As razões de massa dos corpos são independentes do caráter dos estados físicos (dos corpos) que condicionam as acelerações mútuas produzidas, sejam estes estados elétrico, magnético, ou qualquer outro; e elas permanecem, além disto, as mesmas, quer cheguemos a elas por intermediários ou imediatamente.

d) *Proposição experimental*. As acelerações que qualquer número de corpos A, B, C... induzem num corpo K, são independentes uma da

outra. (O princípio do paralelogramo de forças segue imediatamente daqui.

e) *Definição*. A força motriz é o produto do valor da massa do corpo pela aceleração induzida neste corpo.

A exigência machiana pelas grandezas relativas revela-se sobretudo na nova maneira de se referir ao efeito inercial. A formulação newtoniana é comprometida com elementos absolutos: há uma força absoluta a agir sobre o corpo para retirá-lo do estado de repouso e essa força exigente é resultado de uma interação entre sistemas de coordenadas (ou em um sistema de coordenado acelerado em relação ao espaço em si). Mas, por exemplo, em um caso considerado por Newton, o repouso de um corpo que estivesse infinitamente afastado de outros corpos ou a aceleração absoluta de um corpo na mesma situação traz à mecânica relacionista o seguinte problema: ou bem, em tal situação, haveria efeito inercial relativamente ao espaço em si, ou bem não poderia haver efeito inercial de nenhuma natureza, dado que um efeito inercial exigiria uma relação qualquer com um sistema de coordenadas, a partir do qual o movimento, responsável pelo efeito inercial, acontecesse. A maneira pela qual Mach se refere ao efeito inercial é relativa a uma interação entre corpos que são colocados proximamente, como se vê na “proposição experimental a”, acima descrita. A consequência visível dessa exigência é que o movimento, sem qualquer atribuição absoluta, pode ser relegado a qualquer um dos corpos a que se refere. Isso significa que dizer de um corpo “A” que ele executa movimento em relação a “B” é o mesmo que dizer estar “A” em movimento relativo e “B” em repouso, ou é “B” que está a executar o movimento e “A” em repouso. Ambas as situações são a mesma do ponto de vista da física relacionista. Para as palavras atribuídas ao próprio autor da ciência da mecânica: “Tente fixar o balde de Newton e girar o céu das estrelas fixas e então prove a ausência de forças centrífugas.” (Mach, 1883, pg. 133). Alguém disposto a adotar a mecânica machiana e seus princípios seria obrigado a dizer que, um objeto qualquer, se exposto ao céu de estrelas fixas a girar, apresentaria o mesmo efeito inercial que nos faz atribuir movimento a ele, mesmo que estivesse parado em relação a um sistema de coordenadas como a Terra, por exemplo. Como se vê, a formulação machiana expressa aqui e a formulação da primeira lei de Newton revelam diferentes expectativas para o Universo e sua divergência é mais que simplesmente filosófica, é mecânica, portanto. Se Mach está correto, então não é somente um ou outro dos conceitos dos *Principia* que estaria se modificando, mas a visão de mundo é

totalmente outra, a começar pela forma como se entendem as relações e sua consequência para o movimento. Para entender melhor a profunda incomensurabilidade entre mecânica relacional e mecânica newtoniana, vou discutir a experiência do balde que, segundo Newton, permite diferenciar o movimento relativo da água de seu movimento absoluto. Segundo Newton, há forças que estão a separar ou afastar a água a partir de seu eixo circular. Esse movimento de afastamento é um efeito inercial para o qual Newton não conseguiu atribuir nenhum sistema relacional que pudesse explicá-lo. Assim, tem-se um cenário para pensar a mecânica das forças inerciais responsáveis pelo afastamento da água de seu eixo. É desse cenário que parte Newton, no seu livro primeiro, no escólio após as oito definições (*Principia*):

Os efeitos que distinguem movimento absoluto de relativo são as forças que agem no sentido de provocar um afastamento a partir do eixo do movimento circular. Pois não há tais forças em um movimento circular puramente relativo; mas em um movimento circular verdadeiro ou absoluto elas são maiores ou menores, dependendo da quantidade do movimento. Se um recipiente, suspenso por uma longa corda, é tantas vezes girado, a ponto de a corda ficar fortemente torcida, e então enchido com água e suspenso em repouso junto com a água; a seguir, pela ação repentina de outra força, é girado para o lado contrário e, enquanto a corda desenrola-se, o recipiente continua no seu movimento por algum tempo; a superfície da água, de início, será plana, como antes de o recipiente começar a se mover; mas depois disso, o recipiente, por comunicar gradualmente o seu movimento à água, fará com que ela comece nitidamente a girar e a afastar-se pouco a pouco do meio e a subir pelos lados do recipiente, transformando-se em uma figura côncava (conforme eu mesmo experimentei), e quanto mais rápido se torna o movimento, mais a água vai subir, até que, finalmente, realizando suas rotações nos mesmos tempos que o recipiente, ela fica em repouso relativo nele. Essa subida da água mostra sua tendência a se afastar do eixo de seu movimento; e o movimento circular verdadeiro e absoluto da água, que aqui é diretamente contrário ao relativo, torna-se conhecido e pode ser medido por esta tendência. De início, quando o movimento relativo da água no recipiente era máximo, não havia nenhum esforço para afastar-se do eixo; a água não mostrava nenhuma tendência a circunferência, nem nenhuma subida na direção dos lados do recipiente, mas mantinha uma superfície plana, e, portanto, seu movimento circular verdadeiro ainda não havia começado. Mas,

posteriormente, quando o movimento relativo da água havia diminuído, a subida em direção aos lados do recipiente mostrou o esforço dessa para se afastar do eixo; e esse esforço mostrou o movimento circular real da água aumentando continuamente, até ter adquirido sua maior quantidade, quando a água ficou em repouso relativo no recipiente. E, portanto, esse esforço não depende de qualquer translação da água com relação aos corpos do ambiente, nem pode o movimento circular verdadeiro ser definido por tal translação. Há somente um movimento circular real de qualquer corpo em rotação, correspondendo a um único poder de tendência de afastamento a partir de seu eixo de movimento, como efeito próprio e adequado; mas movimentos relativos, em um mesmo e único corpo, são inumeráveis, de acordo com as diferentes relações que ele mantém com corpos externos e, como outras relações, são completamente destituídas de qualquer efeito real, embora eles possam talvez compartilhar daquele único movimento verdadeiro.

A pergunta mais pertinente nesse caso seria a qual dos sistemas relacionados se deviam os efeitos em questão. Os únicos candidatos possíveis são: balde, Terra, estrelas fixas. Vou pensar agora a resposta newtoniana para cada um desses casos e, depois, analisar as diferentes respostas (newtoniana e machiana) para a compreensão da incomensurabilidade mencionada ¹⁶. Na física newtoniana era impossível que houvesse um efeito explicativo que pudesse satisfazê-lo, sem a consideração do movimento absoluto. O movimento nesse caso é absoluto e, se Newton está correto, o movimento absoluto da água se revela e se diferencia do movimento relativo como uma força a afastar a água de seu eixo circular, obrigando-a a subir no balde. Para a compreensão correta desta necessidade, basta considerar separadamente esses elementos e ver como, na física newtoniana, procede cada corpo de acordo com as leis reveladas nos *Principia*. É natural ver que o balde pode ser descartado facilmente, pois, balde e água estão em repouso um em relação ao outro na primeira situação e na segunda, quando a água do balde forma uma concavidade subindo pela sua borda. Assim, a conclusão é que o balde não é um referencial hábil para explicar a concavidade da água. A Terra, segundo suspeito natural, também não é responsável por tal efeito. Verdadeiramente, a única

¹⁶Seguirei, para essa breve exposição do “experimento do balde” e a resposta newtoniana do efeito de força centrífuga, Assis e seu trabalho de 1998, *Mecânica Relacional*, sobretudo no capítulo 2, a partir da página 45.

força exercida pela Terra sobre a água é gravitacional, como a física newtoniana faz perceber:

O segundo suspeito é a rotação da água com relação à Terra. Afinal de contas, na primeira situação a água estava em repouso com relação à Terra e a superfície da água era plana, mas quando a água estava girando com relação à Terra na segunda situação sua superfície ficou côncava. Logo, poderia ser esta rotação relativa entre a água e a Terra a responsável pela concavidade da superfície da água. Newton argumentou que este não é o motivo da concavidade (“E, portanto, esse esforço [de se afastar do eixo do movimento circular] não depende de qualquer translação da água com relação aos corpos do ambiente, nem pode o movimento circular verdadeiro ser definido por tal translação”). Mostramos aqui que Newton foi coerente e estava correto nesta conclusão utilizando sua própria lei da gravitação. Na primeira situação, a única força relevante exercida pela Terra sobre cada molécula da água é de origem gravitacional. Como vimos no Capítulo 1, utilizando a Eq. (1.4) e o teorema 31 de Newton obtemos que a Terra atrai qualquer molécula da água como se toda a Terra estivesse concentrada em seu centro, Eqs. (...). Na segunda situação a água está girando em relação à Terra, mas a força exercida pela Terra sobre cada molécula da água ainda é dada simplesmente por (...). Isto é devido ao fato de que a lei de Newton da gravitação (1.4) não depende da velocidade ou da aceleração entre os corpos interagentes. Isto significa que na mecânica newtoniana a Terra não pode ser a responsável pela concavidade da superfície da água. Estando a água em repouso ou girando em relação à Terra, ela vai sentir a mesma força gravitacional devido a Terra, a saber, o peso (...). apontando para baixo, sem qualquer componente tangencial perpendicular à direção z que dependa da velocidade ou da aceleração da água. (Assis, 1998 pg. 51-52).

O único efeito atribuído à Terra é o de atrair cada molécula de água; portanto, a física newtoniana não explica referindo-se à Terra o comportamento da água a formar uma concavidade afastando-se de seu eixo. Além do mais, podemos pensar um cenário no qual a Terra, ao girar rapidamente, não podia, se considerarmos apenas a física newtoniana, exercer qualquer influência sobre a água. Esse girar contrafactual da Terra deveria, se pudéssemos relegar a ela a suspeita pelo efeito centrífugo sobre a água, resultar em um movimento a ser dado pela aceleração, com certa determinação e de

forma proporcional. Resta então o suspeito escolhido por Mach, as “estrelas fixas”. Também a validade da lei de atração universal revela que as estrelas fixas não são capazes de explicá-lo. Sendo essa a natureza da atração, o efeito relevante das estrelas fixas sobre cada molécula de água é gravitacional. Segundo o autor dos *Principia*, tal efeito podia ser desprezado: “(...) as estrelas fixas, estando dispersas promiscuamente por todo o céu, destroem suas ações mútuas devido a suas atrações contrárias (Proposição 70, livro I). A distribuição homogênea permitia desconsiderar, para efeito de atração gravitacional, a atuação das estrelas fixas e das galáxias distantes, pois elas são também distribuídas pelo Universo de forma homogênea, embora Newton não o conhecesse (no que diz respeito às galáxias distantes, hoje detentoras de resultados importantes para a mecânica relacional). Com efeito, Newton foi conseqüente e científico quando da introdução do espaço absoluto como dotado de importância explicativa no experimento balde ¹⁷. Cumpre enfrentar o argumento dinâmico, que, pela experiência do balde e pela imaginária experiência dos dois globos ligados por fio a girar, executam um passo newtoniano dos mais celebrados, o de distinguir o movimento relativo do movimento absoluto pelo efeito inercial que lhe é indício, pois não pode ser reportado a nada além do espaço absoluto. Um relacionista jamais admitiria movimento absoluto se não fosse obrigado a fazê-lo. Por isso, o argumento dinâmico mostrou-se muito forte, dificultando a resolução relacionista ao problema. Quando confrontado a ele, os filósofos não puderam dirimi-lo. Leibniz estranhamente admitiu em seu arcabouço o conceito de força absoluta e fez admissões do movimento absoluto, porém, não aceitou o espaço e o tempo se não como “seres de razão”, não lhes atribuindo substancialidade. Em sua

¹⁷É importante ressaltar a diferença que os comentadores e autores têm a respeito da adoção newtoniana pelo espaço e tempo absolutos, movimento e forças absolutas e o seu compromisso com os fatos, anunciado e nem sempre cumprido, como se viu em Mach na página 09 deste trabalho. Jammer também esteve a considerar a adoção absolutista um pouco discrepante do compromisso geral que o espírito dos *Principia* anuncia. Assis, porém, considera o espaço o único sistema que estava à disposição de Newton para a explicação da força centrífuga responsável pela subida da água no balde. Isso se considerarmos os elementos de sua própria mecânica e o caráter das forças gravitacionais correspondentes aos efeitos que verdadeiramente podiam ser atribuídos a Terra e às estrelas. Estive a comentar, a princípio, a posição machiana, aquela que parece atribuir ao resultado de Newton um rótulo metafísico de certa incompatibilidade com o assumido compromisso de investigar fatos. Neste momento, desejo seguir Assis e concordo com sua posição de que Newton foi científico e não propriamente metafísico quando distinguiu entre movimento absoluto e relativo no experimento do balde, pois sua física estava inteiramente de acordo com isso e podia mesmo confirmá-lo. Contudo, a admissão pelo espaço absoluto é sim metafísica e tem algo de conflitante com o compromisso newtoniano de se ater somente a fatos. A possibilidade de admitir movimento absoluto sem espaço absoluto, apenas vagamente sugerida por Leibniz e depois melhor apresentada por Sklar, mostra que o resultado de movimento absoluto, se necessário, nem por isso implica diretamente no absolutismo, este último sendo um compromisso forte com uma entidade inobservável e, por essa razão, metafísico.

quinta carta a Clarke, faz ele essa admissão ainda mais abertamente do que em outros momentos:

Para provar que o espaço, sem os corpos, é uma realidade absoluta, tinham-me objetado que o Universo material finito poderia andar no espaço. Respondi que não parece razoável que o Universo material seja finito, e, ainda que o supusemos, seria irracional que fosse dotado de movimento, o que não se dá na hipótese de mudarem suas partes de situação entre si, porque o primeiro, o movimento, não produziria nenhuma mudança observável, e seria sem finalidade. Outra coisa é quando as suas partes mudam de situação entre si, porque então se reconhece um movimento no espaço, mas consistindo na ordem das relações, que mudaram. Replica-se, agora, que a verdade do movimento é independente da observação, e que um navio pode andar sem que aquele que está dentro perceba. Respondo que o movimento é independente da observação, mas não da observabilidade. Não há movimento, quando não existe mudança observável. E mesmo quando não há mudança observável, não há mudança de modo algum. O contrário funda-se na suposição de um espaço real absoluto, que refutei demonstrativamente pelo princípio da necessidade de uma razão suficiente das coisas.

53 Não encontro nada na oitava definição dos Princípios Matemáticos da Natureza [Principia], nem no escólio dessa definição, que prove que se possa demonstrar a realidade do espaço em si. Contudo, concedo que há diferença entre um verdadeiro movimento absoluto de um corpo, e uma simples mudança relativa da situação relativamente a um outro corpo. Com efeito, quando a causa imediata da mudança está no corpo, este está verdadeiramente em movimento, e nesse caso a situação dos outros, com relação a ele, estará, por consequência, mudada, ainda que a causa desta mudança não resida neles. É verdade que, falando com exatidão, não há corpo que esteja perfeita e inteiramente em repouso; mas é disso que se faz abstração ao considerar a coisa matematicamente. Assim não deixei nada sem resposta, de tudo quanto alegaram a favor da realidade absoluta do espaço. E demonstrei a falsidade dessa realidade, por um princípio fundamental dos mais razoáveis e mais provados, contra o qual não se poderia achar nenhuma exceção ou reparo. De resto, pode-se ver, por tudo o que acabo de dizer, que não devo admitir um Universo móvel,

nem lugar algum fora do Universo material. (Leibniz, 1983, carta VI, parág. 52-53).

Alexander considera essa admissão inconsistente com a teoria relacionista sobre espaço e tempo; é, se maiores ressalvas não forem feitas, uma admissão contraditória (Alexander, 1984, pg. XXVII). Não é contraditória se for feita à maneira de Sklar, sendo, ainda assim, bastante exótica. Por essa razão, considero Mach o único que tenha enfrentado o argumento dinâmico e seu sucesso de maneira satisfatória (ainda que não tenha resolvido e explicado a atuação das estrelas fixas). Embora alguns comentadores tenham sugerido que a crítica de Mach é essencialmente negativa (Ray, 1993, pg. 160), ele foi de fato aquele capaz de lançar bases filosóficas para o relacionismo contemporâneo e para uma mecânica livre de “absolutos”; além de ter influenciado Einstein, cuja máxima “não existe espaço sem campo”, para um leitor atento e conhecedor, soa como rigorosamente machiana. Agora, cumpre entender como Mach pretende ter enfrentado o desafio dinâmico dos *Principia*.

Mach, apesar de o resultado newtoniano ter sido hábil, tinha convicções filosóficas profundamente conflitantes com o absolutismo. Ele acreditava fortemente em um programa austero de verificação, como adiante será mais bem comentado. A experiência do balde tinha de ser interpretada de um modo que o argumento dinâmico revelasse por fim o relacionismo, não o movimento absoluto relativamente ao espaço absoluto. A experiência, segundo esse autor, deve concordar com fatos conhecidos e não com as “ficções da nossa imaginação” (Mach, 1883, pg. 284). No entanto tornou-se claro para quem estuda a mecânica relacional que Mach colocou-nos a pensar na direção correta, mas não pôde erigir uma física relacional. Desconhecia sobretudo os trabalhos sobre eletromagnetismo e, apesar de seu conhecido saber enciclopédico para as ciências naturais, não pôde associar todos os conhecimentos que a segunda metade de seu século esteve a desenvolver na resolução do quebra cabeça dinâmico. Suas intuições, ainda que motivadas por razões filosóficas e não empíricas, como a princípio poder-se-ia objetar, eram bastante próximas do que a física relativística pôde realizar, um século depois:

Um outro ponto é que ele não mostrou como o céu de estrelas fixas pode gerar as forças centrífugas ao girar. O mesmo pode ser dito de Leibniz, Berkeley e todos os outros. Isto é, Mach sugeriu que a natureza deve se comportar desta maneira, mas ele não propôs uma lei

de força específica que tivesse esta propriedade. Com a lei de Newton da gravitação, uma casca esférica não exerce forças sobre corpos internos, quer a casca esteja em repouso ou girando, não importando a posição ou movimento dos corpos internos. Veremos que isto é implementado com uma lei de Weber para a gravitação. A época já era madura durante a vida de Mach para uma implementação da mecânica relacional. A ciência física e em particular o eletromagnetismo estavam altamente desenvolvidos durante a segunda metade do século passado. A força relacional de Weber para o eletromagnetismo apareceu em 1846. Uma força similar foi aplicada para a gravitação na década de 1870. Ao mesmo tempo Mach estava publicando suas críticas sobre a mecânica newtoniana e propondo sua nova formulação. Infelizmente ele não parece ter ficado ciente destes desenvolvimentos no campo do eletromagnetismo. Embora ele tenha trabalhado com muitas áreas da física, incluindo a mecânica, a gravitação, a termodinâmica, a fisiologia, a acústica e a óptica, ele não parece ter trabalhado tão profundamente com o eletromagnetismo. Não conhecemos nenhuma menção dele sobre a força de Ampère entre elementos de corrente ou sobre a eletrodinâmica de Weber, nem mesmo conhecemos qualquer citação de Mach ao nome de Wilhelm Weber. Mas outras pessoas nesta época conheciam a teoria de Weber, porém não fizeram a conexão entre as idéias de Mach e o trabalho de Weber. Se qualquer pessoa tivesse a percepção correta naquela época de juntar as duas coisas, a mecânica relacional poderia ter surgido há um século atrás. Todas as idéias, conceitos, leis de força e ferramental matemático estavam disponíveis durante a segunda metade do século passado para implementá-la. Mas isto simplesmente não aconteceu, como mostra a história. A mecânica relacional só foi descoberta muitos anos depois. (Assis, 1998, pg. 142-143).

Mas ainda que esses passos fossem bem sucedidos, creio que o próprio empirismo de Mach e outros precisa se justificar. Tem sido notado por filósofos da ciência que o empirismo lógico é questionável em diversos aspectos, por ser demasiado restritivo, por ser ele mesmo tão metafísico quanto outras filosofias possíveis para o fazer científico e pela dificuldade de critérios pelos quais se torna claro o que é observação e o que é teoria. Os filósofos da ciência estão, como é bem conhecido, questionando a possibilidade de uma ciência que seja descritiva sem que a própria descrição seja só possível a partir de elementos teóricos. Muitas dessas críticas surgiram no seio do importante momento histórico conhecido como *empirismo lógico*. Essa forma de

empirismo foi grandemente influenciada por Mach, e pode ser apresentada muito sumariamente nos termos a seguir:

- a) Um compromisso forte com a experiência sensível e eliminação do discurso científico de tudo o que é inverificável;
- b) Dedicção total do cientista para a obtenção de confirmação, e esta deve ser universalizada o mais que possível;
- c) Limitar-se em explicações que sejam descritivas, sem remissão a elementos “fundamentais metafísicos”, de que seria um bom exemplo os poderes causais e secretos que já haviam sido discutidos por empiristas em séculos anteriores, como o notável exemplo de David Hume (1711 – 1776).

Um programa semelhante não logrou êxito em ser um compromisso irreduzível para qualquer discurso científico, mas é inegável que simplicidade, economia e verificação tornaram-se palavras com as quais o cientista esteve sempre a ocupar-se, para o bem da própria ciência ¹⁸. A partir do que foi dito, pode-se fazer a Mach críticas que o atingem tanto quanto aos seus companheiros de espírito. A observação é pura? Não é ela mesma teórica e, por tanto, em certo sentido, metafísica? O critério verificacionista é ele mesmo verificável? Esses são apenas alguns exemplos relevantes. Para citar alguns autores sistemáticos nessa objeção, pode-se consultar a obra de Thomas Kuhn (1922 - 1990), segundo a qual a ciência é uma atividade dirigida pela educação e tradição relativas à época (1970, pg. 111 -112); Paul Feyerabend (1924 – 1994) foi enfático ao dizer que não há observação que não seja teórica (Feyerabend 1988). Outros autores exploraram e sofisticaram esse tipo de abordagem, atribuindo ao sujeito do conhecimento um papel decisivo na construção da observação e seus meios,

¹⁸Aqui é válida a ressalva de que me refiro, de um modo específico, ao empirismo lógico e seus proponentes. Por enquanto, não me refiro a desenvolvimentos posteriores de qualquer doutrina a que se possa chamar “empirista”, como por exemplo a obra van Fraassen, os chamados proponentes do “empirismo construtivo” e outras teorias, sejam semânticas e/ou metodológicas para um programa empirista.

como se pode ver em Hacking. (1983, pg. 164, 165). Não se mencionam essas questões para partir de um pressuposto relativista, mas para que se observe ser o ponto de partida machiano problemático, e para que seja colocada a questão pela possibilidade de uma ciência a essa maneira, algo que os autores acima estão a rejeitar. Minha dissertação não é o lugar para explorar essa sorte de desconfianças ao empirismo e suas vertentes. Para entender a crítica dos autores acima, o leque desta questão deveria ser aberto para que não ficássemos com a impressão de superficialidade. Contudo, dado que meu objeto é mais a exemplificação problemática do relacionismo no contexto da física contemporânea do que propriamente uma análise aprofundada sobre as relações entre relacionismo e empirismo, não vou me estender nos problemas que o projeto empirista tem, nem realizar a sua crítica de modo mais aprofundado. Muito mais importante para mim é a outra razão pela qual o êxito da crítica machiana pode ser questionado. Trata-se de chamar a atenção para o fato de que, mesmo que o programa de tal ciência fosse possível, não foi demonstrado ser o espaço e o tempo elimináveis ou reclassificáveis no discurso científico e filosófico, nem no contexto da mecânica clássica, menos ainda no contexto da física einsteiniana. Segundo o relacionismo, haveríamos de abandonar o espaço absoluto ou ainda contemplar o privilégio de relações materiais sobre fatos espaciais e temporais, o que ainda hoje é uma proposta inacabada, da qual se pode ter alguma esperança.

No próximo capítulo, dando continuidade ao desejo de apresentar o substantivismo como sendo o absolutismo newtoniano reapresentado no contexto da física da relatividade e, em seguida, mostrar como o antigo debate recobrou fôlego com os resultados da teoria de Einstein, vou seguir apresentando algumas das questões dependentes de certa compreensão das relatividades restrita e geral, razão pela qual discorro sobre elas e não apenas sobre a metafísica do espaço e do tempo.

II. Sobre a teoria da relatividade restrita e geral: a importância da relatividade para a filosofia do espaço e tempo.

Em 1905 Einstein causava uma revolução na comunidade científica. Esse ano ficou conhecido como o “ano do milagre”: um físico desconhecido revolucionava nossa compreensão de mundo, causando inquietação no que diz respeito ao emprego de conceitos que pareciam ausentes de dúvida, em resultados antecipados por Poincaré em 1904, um ano antes da publicação de sua teoria. O conceito de simultaneidade, por exemplo, se aplicado indiscriminadamente a qualquer evento mesmo que distante, mostrava-se inconsistentes com os resultados verificados:

Mas, esse resultado está em contradição com o princípio de relatividade apresentado no item 5. Com efeito, a lei de propagação da luz no vácuo, como qualquer outra lei geral da natureza, deveria ser o mesmo caso tomássemos o vagão ou os trilhos como corpo de referência. Mas isto, segundo nossas considerações, parece impossível. Se todo raio luminoso se propaga em relação ao solo com a velocidade C , parece que, justamente por isso, a lei de propagação da luz em relação ao vagão tem que ser diferente. Isso está em contradição com o princípio de relatividade. (Einstein, 1999, pg. 23).

O princípio de relatividade é o primeiro dos postulados dessa teoria. Ele estabelece que as leis que governam a mecânica dos corpos são as mesmas para fenômenos ópticos e eletromagnéticos: ... em todos os sistemas de coordenadas em que são válidas as equações da mecânica, também são igualmente válidas leis ópticas e eletrodinâmicas da mesma forma (Einstein, 1978). Os “sistemas em que são válidas as equações da mecânica”, tal como a isso se refere Einstein, trazem a apreciação mais importante: a de que há sistemas que compartilham das leis mais gerais e simples da física. A esses sistemas é que chamamos pelas designações “sistemas inerciais” ou “galelineanos”. São galelineanos porque, para esses sistemas, é válida a consideração feita por Galileu Galilei (1564-1562), de que não podemos determinar aceleração absoluta ou movimento absoluto em corpos que estejam em condições de “sistema inercial”, se não pela consideração relacional destes corpos com outros. Assim, assumindo a validade desse princípio e aceitando a lei de propagação da luz no vácuo, Einstein conseguiu destituir os intervalos de tempo de seu caráter absoluto e inaugurar o que se convencionou chamar

de “relatividade da simultaneidade”¹⁹. Para ser breve nessa locução, basta dizer que a relatividade da simultaneidade enuncia o seguinte: dois eventos são considerados simultâneos (em um referencial inercial) quando eles são observados simultaneamente por um observador que esteja localizado em um ponto equidistante destes eventos. Segundo essa definição (a qual usa a noção implícita de que os eventos, para a sua consideração em uma teoria científica, são simultâneos somente para observadores, pois não há qualquer apreciação sobre o que seriam os “eventos em si”), não existe simultaneidade entre os eventos para um segundo observador, caso ele esteja em movimento em relação ao primeiro. Porque as leis que governam as mudanças de estado em quaisquer sistemas físicos tomam a mesma forma em quaisquer sistemas de coordenadas inerciais e a velocidade da luz é a mesma para sistemas inerciais independentemente da velocidade da fonte de emissão de luz, porque essas condições são verdadeiras, não se pode mais garantir a simultaneidade absoluta para eventos distantes, se não em condições especificáveis:

Admitamos, além disso, que se três eventos A, B, C ocorrem em posições diferentes, de tal maneira que se A é simultâneo a B e B é simultâneo a C... o critério da simultaneidade também é satisfeito para o par de eventos A-C. Esta suposição não é uma hipótese física sobre a lei da propagação da luz; é absolutamente necessário que ela seja verdadeira, se quisermos manter a lei da constância da velocidade no vácuo. (Einstein, 1999, pg. 26).

A luz viajando a uma velocidade c constante é o segundo postulado de sua teoria da relatividade especial. Isso somente significa que a referida velocidade não depende dos corpos que fazem emissão de luz, estando eles em movimento ou repouso, e também não dependem do movimento ou repouso do observador. Dois relógios sincronizados podem medir o tempo de forma diferente, em condições específicas, e o mesmo pode ser dito do espaço e das réguas com que a medição de intervalos de espaço é feita:

¹⁹O que estava em questão era uma aparente contradição entre um fato físico e o chamado princípio de relatividade. O fato físico era a constância da velocidade da luz, observada com muita clareza pelo astrônomo holandês De Sitter e outros. O resultado de Einstein é fantástico porque, em uma teoria lógica cujos alicerces já estavam de antemão na física, foi possível mostrar a compatibilidade entre ambas, e o preço foi apenas o abandono da pré-concebida ideia de que há intervalo de tempo absoluto: *“Aqui entrou em cena a teoria da relatividade. Por uma análise dos conceitos físicos de tempo e de espaço demonstrou-se que **não existe incompatibilidade entre o princípio de relatividade e a lei de propagação da luz** (destaque do autor). Pelo contrário, por uma adesão firme e sistemática a estas duas leis se pode chegar a uma teoria lógica que está ao abrigo de toda objeção”*. (Einstein, 1999, pg. 24).

Chegamos a um importante resultado: eventos que são simultâneos em relação ao leito da estrada não são simultâneos em relação ao trem, e vice e versa (relatividade da simultaneidade). Cada corpo de referência (sistema de coordenadas) possui seu tempo próprio. Uma especificação temporal só tem sentido quando se indica o corpo de referência ao qual esta indicação se refere. (Einstein, 1999, pg. 28).

Não contente com essa novidade, alguns anos mais tarde, Einstein chegava a um resultado ainda mais radical para uma teoria da gravitação. O fantasma da ação a distância era substituído por uma geometria do Universo, construída sob o novo conceito de “espaço-tempo”, e o comportamento gravitacional era apresentado como relativo a distorções no próprio espaço-tempo. Essa teoria começou a ser erigida quando o princípio de relatividade, inicialmente válido para sistemas de referência (chamado por Einstein de princípio de relatividade restrita) que executavam movimentos não acelerados entre si, fosse estendido para sistemas de coordenadas não galelineanos. Isso estava implicado em suposições não empíricas, cuja presença no trabalho de Einstein, em minha opinião, revela a reverência que esse autor mantinha pela simplicidade maior a ser expressa por leis que se refletem, seja em um sistema específico, seja em todo outro sistema. Einstein apresentou as equações da teoria da relatividade como sendo covariantes entre si. “Covariância” é um termo que havia sido introduzido por Hermann Minkowski (1907-1908) para se referir à igualdade ou identidade nas equações entre dois sistemas inerciais diferentes. A suposição de que o Mundo pode ser descrito em equações em que a covariância é válida revela mais do fundamento filosófico a influenciar um autor do que das razões empíricas para implicá-lo, pois da forma como vem a ser apresentada por Einstein, a covariância revela a confiança de que as leis podem ter essa forma simples, crença em cuja pista se revela muito da motivação filosófica do mesmo. Em Einstein, 1999, pg. 55, o autor diz ser, apesar da tentação à generalidade efetivamente realizada, necessário apresentar as razões (empíricas) para legitimamente considerar qualquer corpo de referência, incluso disso um corpo a executar um movimento não galelineano, como sendo também sujeito às mesmas leis do movimento:

Depois de haver comprovado o princípio de relatividade especial, é tentador para toda mente que aspira à generalização dar o passo em direção ao princípio de relatividade geral. Mas, uma consideração simples e na aparência muito verossímil faz com que de início esta

tentativa nos pareça sem chance de sucesso. Basta que, em pensamento, o leitor se imagine transportado para o vagão que viaja uniformemente sobre a estrada de ferro e com que tantas vezes já nos ocupamos. Enquanto a vagão viaja uniformemente, o viajante que se encontra em seu interior nada percebe do seu movimento. Por isso, ele não encontra dificuldade em imaginar que o vagão está em repouso, mas que o leito da estrada está em movimento. Esta interpretação, aliás, é perfeitamente justificada do ponto de vista físico, de acordo com o princípio de relatividade especial.

Mas, se o movimento do vagão passa a não ser uniforme – por exemplo, em consequência de uma violenta freada -, o viajante experimenta um forte puxão para frente. O movimento acelerado do vagão se manifesta no comportamento mecânico dos corpos em relação a ele; o comportamento mecânico já não é o mesmo do caso considerado anteriormente, e por isso nos parece impossível que, em relação ao vagão em movimento não uniforme, se apliquem as mesmas leis mecânicas que em relação ao vagão em repouso ou movimento uniforme. De qualquer forma, é claro que em relação ao vagão com movimento não uniforme não vale o princípio fundamental de Galileu. Por isso nos sentimos de imediato forçados a, contrariamente ao princípio de relatividade geral, atribuir ao movimento não uniforme uma espécie de realidade física absoluta. No que segue logo veremos que esta conclusão não é convincente. (Einstein, 1999, pg. 55).

O autor dedica-se no livro mencionado a esclarecê-lo nas páginas seguintes. Para isso ele reclama o fato de que há uma igualdade entre a “massa inercial” de um corpo e sua “massa gravitacional”. Isso significa, nas palavras de Einstein, “que a *mesma qualidade* do corpo se manifesta ora como ‘inércia’ ora como ‘gravidade’ (peso)”. Qual a relação que a teoria estabelece entre “massa inercial” e gravidade? Na verdade Einstein sugere em sua teoria que ambas as coisas devem ser encontradas no conceito de “campo” que, alegadamente, substitui o conceito de matéria na teoria e, segundo alguns autores, torna o conceito de espaço desnecessário, opinião que não desejo seguir. Ora, poder interpretar o mesmo fenômeno como inércia ou gravidade pode servir para responder ao seu desafio, concluindo dessa vez em favor do princípio de relatividade geral:

Compreendemos agora por que não pode sustentar-se o argumento apresentado ao final do item 18 contra o princípio de relatividade geral. É bem verdade que o observador que se encontra no vagão da estrada de ferro que está sendo freado experimentalmente, em consequência da frenagem, um puxão para frente, e que desta forma ele percebe o movimento não uniforme do vagão. Mas ninguém o obriga a atribuir o puxão a uma aceleração real do vagão. Ele também pode interpretar da seguinte forma o que experimentou: meu corpo de referência (o vagão) está permanentemente em repouso. Mas, durante o período da frenagem, existe em relação ao mesmo um campo gravitacional dirigido para frente e que varia de acordo com o tempo. Por influência deste campo, o leito da estrada e a Terra se deslocam com movimento não uniforme, de tal modo que sua velocidade inicial dirigida para trás vai decrescendo constantemente. É este campo gravitacional que provoca também o puxão no observador. (Einstein, 1999, pg. 61).

A mecânica clássica e a relatividade restrita tecem suas considerações atuando para um domínio válido. Mas trata-se de um domínio limitado, pois, segundo a mecânica clássica, corpos afastados suficientemente uns dos outros ou conservam o estado de repouso ou executam movimentos retilíneos uniformes (pois é nessa situação que podemos imaginá-los livres de forças que sobre eles sejam atuantes). Mas essa lei, ou, melhor dizendo, essa maneira de se referir à primeira lei do movimento, como podemos notar, faz distinções importantes entre sistemas, pois sua validade é sistemática para um domínio e somente ele. Isso é insatisfatório na medida em que atua conferindo certo privilégio a sistemas K que estão em movimento retilíneo uniforme. A razão desta preferência é omitida pelas teorias da mecânica clássica e, como o âmbito de atuação da relatividade restrita é o mesmo e nenhum passo de generalidade foi dado, tampouco é satisfatória a novidade da primeira relatividade de Einstein, porque também nela o comportamento a exigir leis diferentes para movimentos retilíneos uniformes e movimentos acelerados não pode ser explicado. Como se pode já antever, o princípio de relatividade (geral) e a atuação do campo gravitacional é a diferença somente encontrada na relatividade geral. O campo gravitacional pode explicar o seguinte: seja considerado um corpo que em relação a K executa um movimento que é retilíneo uniforme e, esse mesmo corpo, em relação a K' , imaginemos que esteja em movimento acelerado (imaginemos que K' seja ainda um corpo cujo movimento é acelerado). A trajetória desse corpo é em geral curvilínea. A atuação responsável por essa trajetória

curva é a ação do “campo”. Se nos perguntamos pela descrição da trajetória deste corpo por um observador cuja perspectiva esteja em K, saberemos que para esse observador a trajetória não se parecerá curva e haverá de ser, a descrição da trajetória retilínea uniforme, uma descrição de trajetória “inercial”, cujo efeito atribuímos à inércia segundo as especificações e as leis de Newton. Mas se perguntado pela perspectiva, para o mesmo corpo, desde que observado em K', então a lei da inércia supostamente não se aplicaria por estar ela fora do domínio em que sua aplicação é válida. Como explica a teoria de Einstein o comportamento acelerado e a trajetória curvilínea observada a partir de K'? A extensão do princípio de relatividade, como já foi mostrado, permite tratar este evento como um evento para o qual a lei do movimento torna-se válida. Podemos dizer então o seguinte, a respeito desta sorte de movimentos: o corpo em relação a K' sofre a ação do campo gravitacional, o qual, segundo a teoria, é o responsável pela trajetória curvilínea observada a partir de K'. O que, segundo a teoria, permite-se esperar dessa ação gravitacional? É esperado, principalmente, que a trajetória de um corpo que esteja nas proximidades físicas de outro, na situação K', seja uma trajetória acelerada e curvilínea. Os passos de Einstein, na ordem de importância para a minha compreensão, são: a) a extensão do princípio de relatividade a corpos cujo movimento não é galelineano; b) a percepção de que o efeito inercial tem equivalência com a massa gravitacional, o que permite descrever um evento cujo movimento é acelerado em relação a K' como uma ação do campo gravitacional. O que se pode dizer como evidência empírica da existência deste campo? Além da aceleração, que é tanto responsável pelo campo quanto consequência de sua presença (em verdade essas duas situações parecem indistinguíveis) e do movimento curvilíneo, também é esperado que, em tais condições, as medidas de espaço (régua) sofram um encurtamento na direção do movimento e uma dilatação do tempo (relógio). Todas essas coisas ocorrem conforme a experiência nos ensina:

Mas chegamos a um novo resultado de fundamental importância quando aplicamos considerações análogas a um raio luminoso. Em relação ao corpo de referência galelineano K a luz se propaga em linha reta com a velocidade c . Em relação à caixa acelerada (corpo de referência K'), como não é difícil concluirmos, a trajetória do mesmo raio luminoso já não é mais reta. Daí devemos concluir que *em um campo gravitacional os raios luminosos em geral se propagam*

segundo linhas curvas. Este é um resultado de grande importância sobre dois aspectos.

Com efeito, em primeiro lugar ele pode ser confrontado com a realidade. Embora um exame detalhado nos mostre que a curvatura dos raios luminosos fornecida pela Teoria da Relatividade Geral é extremamente pequena para os campos gravitacionais de que dispomos na prática, ela deve atingir 1,7 segundo de arco para os raios que passam nas proximidades do sol. Isto deveria se manifestar pelo fato de que as estrelas fixas que aparecem próximas ao Sol, e que a durante os eclipses totais do Sol são acessíveis à observação, se afastam aparentemente do Sol por aquele valor, em relação à posição por elas ocupada no céu quando o Sol se encontra em outra região do firmamento. O teste do acerto ou não acerto desta previsão é uma tarefa de extrema importância, cuja solução pelos astrônomos pode ser esperada em breve²⁰. (Einstein, 1999, pg. 64-65).

As duas teorias, respectivamente, relatividade restrita e relatividade geral, deram a base das questões físicas e cosmológicas e ainda, pelo que vou defender, suscitaram no antigo debate pelo estatuto ontológico do espaço-tempo uma renovação significativa.

Houve quem acreditasse ser a relatividade a melhor ocasião para abandonar os conceitos newtonianos de espaço e tempo. Defenderei a tese de que não há essa possibilidade, pois, em verdade, a teoria einsteiniana não é ontologicamente comprometida²¹. A esperança no programa relacionista repousa, entre outras coisas, na possibilidade de abandonar qualquer referência ao espaço e tempo em si mesmos, restringindo a teoria o mais que possível a objetos observáveis e reduzindo os efeitos esperados a uma relação entre partes do Universo. Mas por que razão achou-se que a teoria da relatividade podia realizar o desejo relacionista? A teoria einsteiniana não faz nenhuma referência ao espaço e tempo e, quando o faz, é apenas em sentido instrumental? Como mencionamos em Sklar, pg. 22 desta dissertação, pelo menos *prima facie* é possível se referir ao espaço-tempo da relatividade restrita como algo mais

²⁰A existência do desvio luminoso exigido pela teoria foi constatada por meio de fotografias do eclipse total do Sol, em 30 de maio de 1919, por duas expedições organizadas pela Royal Society (e pela Royal Astronomical Society), sob a direção dos astrônomos Eddington e Crommelin.

²¹Para uma visão mais detalhada da manutenção de conceitos absolutos na teoria de Einstein, ver Ghins (1991, 1992).

que uma ficção útil a estabelecer sua real referência nas relações quaisquer ente objetos materiais. Assim é observado que, não obstante o empenho para extrair da relatividade o programa relacionista, essa estratégia está longe de ser ausente de problemas:

“Encontramos frequentemente na bibliografia sobre o tema afirmações muito ousadas segundo as quais a física contemporânea resolveu conclusiva e decisivamente debates filosóficos muito antigos. ‘A mecânica quântica refuta a tese de que todos os acontecimentos têm uma causa’ é um exemplo frequente. Por vezes, surpreendentemente, ambos os lados de um debate filosófico afirmam que uma teoria resolve um problema a seu favor. Assim, tem-se defendido que a teoria da relatividade geral resolve decisivamente o problema da natureza do espaço; mas há quem defenda que esta teoria refuta o substantivismo, enquanto outros sustentam que resolve o debate a favor dessa doutrina! Estas afirmações ousadas e injustificadas são enganadoras, pois os problemas são complexos e os argumentos são por vezes frustrantes na sua subtilidade e opacidade. Nestas circunstâncias, as pretensões a uma vitória decisiva de qualquer tipo devem ser encaradas pelo menos com algum cepticismo ²²”. (Sklar, 1992).

Autores como Reichenbach por muito tempo esperaram que a teoria da relatividade pudesse realizar as premissas relacionistas. Modelos de Universo para os quais não era importante atribuir um papel decisivo ao espaço e tempo se tornaram preferenciais, e o aspecto empírico desses modelos acabou por ser reforçado. Contudo, não é tão óbvio nesses modelos que a remissão ao espaço e tempo seja tão somente instrumental. A teoria de relatividade geral é capaz de possibilitar uma grande diversidade de modelos, alguns dos quais perfeitamente absolutistas:

“A despeito da esperança de relacionistas como Reichenbach, a TRG pode ser usada para construir modelos que parecem implicar um compromisso irreduzível com o espaço e tempo como uma entidade independente”. (Ray, 1993, pg. 181).

Modelos como os de Friedmann não parecem ter nenhum compromisso ontológico com o espaço e tempo à maneira do absolutismo. Uma estratégia muito usada foi sempre chamar a atenção para esses modelos e sua evidência empírica. Mas

²² Artigo consultado em Crítica: http://criticanarede.com/cie_fisfil2.html, consultado em 18/10/2011

pode-se atentar para o fato de que há evidência empírica dando suporte a modelos absolutistas também. Modelos “não absolutistas” são, entre outros, mundos infinitos com material infinito, mundos espacialmente fechados ²³ e modelos com campos adicionais (Ray, C. 1993, pg. 181). É notável que os relacionistas estejam simplesmente a negar o absolutismo com base em construtos da relatividade geral, sem nos dar uma razão forte pela qual não se deve levar em consideração uma diversidade de modelos “absolutistas”, também não ausentes de credenciais empíricas:

Mesmo que mostrássemos que alguns modelos com uma sólida linhagem empírica satisfazem as exigências relacionistas, precisaríamos de bons motivos para “abandonar” todos os outros modelos “absolutistas”, principalmente porque muitos deles também têm boas credenciais empíricas. (Ray, 1993, pg 181).

Parte significativa do que anima o relacionista a se apegar à relatividade diz respeito à diversidade de formas com que o termo “absoluto” é usado nas doutrinas sobre o espaço-tempo. Um sentido em que é correto dizer que a doutrina é não absoluta diz respeito à dependência, para o estabelecimento de “valores” a intervalos de tempo, da escolha de um sistema de referência inercial. Ou seja, a relatividade da simultaneidade desfaz o caráter absoluto da simultaneidade e, portanto, o caráter absoluto dos intervalos de tempo. Importante é notar que só isso não é capaz de realizar o relacionismo, pois há sentidos em que mesmo a relatividade é absolutista. Por exemplo, o infinitesimal intervalo de tempo entre dois pontos vizinhos não é variável (Ray, 1991, pg. 183). Convém estabelecer os sentidos em que pode significar espaço e tempo serem absolutos:

- a) Espaço e tempo enquanto absolutamente independentes de objetos e eventos;
- b) Espaço e tempo enquanto possuidores de propriedades invariáveis (topologia, métricas invariáveis, intervalos de tempo e espaço, quantidades absolutas, etc.);

²³ Nesses mundos seria possível, teoricamente, satisfazer condições como o princípio de Mach, isso pela inexistência de condições de contorno, ou pela inexistência de espaço-tempo na ausência de matéria.

- c) Espaço e tempo como elementos mais gerais e inelimináveis na explicação geral do movimento (como estruturas a que se reportam as leis do movimento; por exemplo, como o espaço absoluto no argumento dinâmico dos *Principia*).

Essa divisão de sentidos que a palavra “absoluto” assume, nas teorias sobre o espaço e tempo, faz perceber, entre outras coisas, as relações lógicas que precisam ser estabelecidas entre cada sentido proposto, na linha da argumentação desenvolvida por Friedman (1983). Como uma parte da suposta vantagem relacionista está residida no fato de que “a”, se interpretada de um determinado modo, pode ser considerada falsa, mostrar a sua independência mútua assume uma ordem de importância. Por exemplo, a relatividade da simultaneidade certamente torna “a” e “b” falsas se entendemos com isso que a independência em questão torna os intervalos de tempo absolutos. A falsidade de “a” e “b”, contudo, não obriga a concluir pela falsidade do sentido em “c”. Mas se alguém alegar que a falsidade de “a” significa que o conceito de “campo” é dependente da distribuição das massas e energias no Universo e, não havendo tais condições tampouco haverá espaço-tempo, então se pode ainda proceder a uma defesa de “a”, pois, como uma diversidade grande de autores estão a mostrar, essa redução entre espaço-tempo e matéria não foi provada. O primeiro sentido é falso (se por independência se deve entender não relação), pois a relação entre matéria e métrica não é eliminável. O espaço-tempo da relatividade geral não é mera “arena” para os objetos e eventos a estabelecerem relações entre si. Efetivamente, há uma relação admitida entre a distribuição da matéria e a geometria do espaço-tempo, sendo esta exaustivamente determinada por aquela ou não.

Na versão de Friedman, os três sentidos de “absoluto” seguem como o seguinte, apresentados como uma dicotomia entre a estrutura espaço-tempo absolutamente ou relativamente consideradas:

- i. “Absolute-relational” - nesse ponto o autor se pergunta pelo status ontológico das estruturas espaço temporais. Esse sentido equivale ao apresentado em “a”, conforme a descrição acima. O que se deseja saber, neste contraste, é se o status do espaço-tempo pode conservar sua independência (ou algum tipo de independência) dos fenômenos. As

teorias sobre o espaço-tempo são teorias sobre relações ou teorias sobre aquilo, sendo uma substância ou não, em que as mais diversas relações espaço temporais são realizadas?

Whether theories ostensibly about space-time structure are merely theories about the spatio-time relations between physical objects, or whether they describe independently existing located: whether spatio-temporal relations and properties – for example, “causal” relations and properties. (Friedman, 1983, pg. 62)²⁴.

Friedman faz o discernimento de duas questões. A primeira se refere ao domínio das teorias sobre espaço e tempo. Se interpretada a esse modo, as questões sobre o espaço-tempo são questões sobre o domínio da teoria, que é, se o relacionismo for correto, o domínio das relações e apenas isso. A segunda questão diz respeito a essas relações admitidas e a que coisas elas se reduzem. Podem essas relações espaço temporais serem definidas em termos de outras? Por exemplo, podemos reduzir essas relações a sistemas de coordenadas espaço temporais? Ou devemos dizer que são as coordenadas espaço temporais que se reduzem a relações, como no exemplo de relações causais e propriedades? Todavia, a independência assinala, a um só modo, para a possibilidade ou não de uma redução tal como a que é exigida pelo princípio de Mach.

- ii. “Absolute-Relative – esse sentido, pelo que concluo, só pode ser admitido se falamos do espaço e tempo newtonianos. Para a teoria da relatividade ele é verdadeiro sob certas condições. Com efeito, o espaço-tempo da teoria da relatividade não é inteiramente independente (salvo um intervalo infinitesimal de tempo) de sistemas de coordenadas: In the sense of this contrast, an absolute element of spatio-temporal structure is one that is well defined independently of reference frame or coordinate system. (Friedman, 1983, pg. 63) ²⁵. Esse sentido advoga para espaço e tempo uma invariabilidade. Assim, a forma assumida pelo contraste apresenta, de certo modo, além do que é habitual entre absolutismo e relacionismo, um contraste entre a invariabilidade newtoniana e a invariabilidade possível com a reforma

²⁴Se as teorias sobre o espaço-tempo são estruturas meramente teóricas sobre relações espaço temporais entre objetos físicos, ou se elas descrevem uma localização independente real: se são espaço-temporal relações e propriedades - por exemplo, relações causais e propriedades. (tradução minha).

²⁵No sentido deste contraste, um elemento absoluto de estrutura espaço temporal é aquele que pode ser bem definido como independente de sistemas de referência (tradução minha).

dos conceitos de espaço e tempo, na teoria da relatividade. A pergunta necessária que se deve fazer é: o espaço-tempo da relatividade (restrita e geral) é independente de sistemas de coordenadas (frame of reference²⁶)? O substantivista, para ser plenamente consistente com a relatividade, poderá dizer que aceita a independência (a existência de uma estrutura espaço-tempo independente dos sistemas de coordenadas) sem aceitar a invariabilidade (os intervalos de tempo na relatividade restrita dependem da eleição de sistemas e coordenadas).

Acredito que é essa a maior importância da análise de Friedman nas páginas que estou comentando. A teoria newtoniana aceita que o intervalo entre eventos, digamos, A e B, seja invariável ou independente da eleição de sistemas de coordenadas. Isso é verdadeiro, na teoria newtoniana, para intervalos de tempo, mas a medida da velocidade de um corpo em movimento acelerado depende de parâmetros a serem especificados e, portanto, exigentes da eleição de sistemas de coordenadas (para o cálculo da *velocidade escalar*²⁷, por exemplo). Contudo, como há espaço absoluto na teoria e como a teoria não estabelece nenhuma relação de determinação do espaço pelos corpos que nele estão a estabelecer relações, a determinação da velocidade escalar como dependente de coordenadas é bem específica. Um corpo que esteja livre de forças inércias relativas à aceleração dá-nos a liberdade de escolher qualquer sistema de coordenadas para tal. O cálculo do movimento de um corpo se estabelece a partir dessa eleição, mas isso não significa que a distribuição dos corpos, para Newton, determina a “métrica ou geometria” do espaço-tempo (em Newton não existem tais conceitos). Esse sentido é exemplificado acima em “b”.

- iii. “Absolute-Dynamical” - Esse sentido aparece como “c”. Ele diz respeito também a uma estrutura fixa, independente e geométrica e a contrastante estrutura que é, por sua vez, não fixa. Diz respeito, portanto, ao papel que essas estruturas desempenham na dinâmica dos corpos. O argumento

²⁶Sistema de referência.

²⁷A velocidade escalar é definida como a relação entre o deslocamento escalar e o intervalo de tempo que lhe corresponde. É importante notar que, em Newton, o cálculo da velocidade escalar depende de parâmetros referenciais sendo, portanto, um conceito relativo. Em Newton, os conceitos relativos (movimento relativo, espaço relativo etc.) não estão em desarmonia com a doutrina do espaço e tempo absolutos e movimento absoluto.

dinâmico dos *Principia*, por exemplo, depende da aceitação de que o movimento possa ser descrito como absoluto, quando sua referência se dá unicamente ao espaço que, também ele, é absoluto. Assim, como nas leis do movimento e o espaço absoluto dos *Principia*, a estrutura geométrica invariante tem atuação na dinâmica, mas não é determinada pelos corpos que se movimentam absolutamente em relação a ela. Esses sentidos de absoluto são problemáticos no contexto da teoria da relatividade. Esse último é admitido como consistente com a teoria da relatividade, para quem, como Grünbaum, aceita que a teoria da relatividade não incorpora o princípio de Mach e com a ressalva de que os corpos, ao se reportarem ao espaço absoluto para descrever o movimento verdadeiro, não deixam de atuar sobre ele. Uma estrutura fixa, como abaixo menciona o autor, não é plenamente consistente com a Relatividade geral:

This contrast is precisely the distinction we examined in (...) between geometrical structure that is fixed independently of the processes and events occurring within space-time and geometrical structure that is not so fixed. In this sense, an absolute geometrical structure is one that affects the material content of space-time (through laws of motion, for example) but is not affected in turn. (Friedman, 1983, pg. 64)²⁸.

Friedman segue argumentando pela não inter-relação entre os sentidos expressos. À primeira vista, poderia parecer que o primeiro sentido, uma vez que diz respeito à independência, esteja implicado no terceiro; ou seja, se podemos nos referir a uma estrutura “fixa” para a descrição do movimento verdadeiro, só o fazemos porque essa estrutura guarda a independência, a qual é tratada em “a”. Uma análise mais conscienciosa mostra não ser esse o caso:

At first sight, it may appear that the third sense implies the first, in that if a geometrical structure is not even affected by physical events and processes, it cannot be reducible to them. However, this would be a misunderstanding of technical sense in which absolute objects are

²⁸Esse é precisamente o contraste que nós analisamos em (...) entre uma estrutura fixa e independente dos eventos a ocorrerem dentro do *espaço-tempo* e uma estrutura não fixa. Neste sentido, uma estrutura fixa é aquela que afeta os fenômenos (como nas leis do movimento, por exemplo) sem que, contudo, seja ela mesma afetada. (tradução minha).

independent of physical processes. All it means for an object to be independent or absolute in this technical sense is that it is determined (up to *d*-equivalence) by the field equations of the theory in question. (Friedman, 1983, pg. 64)²⁹.

Isso significa que não é correto, apenas porque há uma independência (em sentido bastante técnico) entre “absolute objects” e “physical processes”, concluir pela independência em um sentido mais irrestrito. Isso é verdadeiro, por exemplo, segundo Friedman, para a métrica da relatividade geral. Ela é determinada pela distribuição de massa e energia, mas, ainda segundo esse autor, não pode ser exclusivamente determinada por isso e essa informação seria suficiente para dizer não haver a implicação de “c” por “a”. Não ocorre essa implicação, pois, efetivamente, ainda que seja considerado o cenário proposto pela relatividade geral, não é por essa razão que não seja correto dizer “c”, pois esse cenário não impede que se faça, por exemplo, uma atribuição de movimento absoluto, muito embora haja nas condições da teoria uma determinação do espaço-tempo pela distribuição de massa e energia:

Of course, this is far from a guarantee of reduction; for an object may depend on matter fields without being even uniquely determined by them, much explicitly definable from them. An example of this situation is the metric of general relativity, which depends on the distribution of mass-energy but is not uniquely determined by it. This shows that the first sense of “absolute” does not imply the third either, (Friedman, 1983, pg. 65)³⁰.

O sentido que aparece em “b” também não tem nenhuma correlação com “c”. Assim, algo pode ser dependente da matéria e energia, ou, em outras palavras, algo

²⁹À primeira vista, pode parecer que o terceiro sentido implique no primeiro, e que se uma estrutura geométrica não é afetada por eventos e processos, então não se reduz a eles. Como sempre, isso seria apenas um equívoco no entendimento técnico do sentido no qual pode haver independência de objetos absolutos a processos físicos. Tudo isso significa, para um objeto ser dito independente e absoluto neste sentido mais técnico, que este objeto é determinado (até uma *d*-equivalência) pelas equações de campo da teoria em questão. (tradução minha).

³⁰É claro, isso por si só não é garantia de redução; um objeto pode ser determinado por um campo material e não ser, apesar disso, unicamente determinado por ele, muito menos definido em termos dele. Um exemplo desta situação é a métrica da relatividade geral, dependente da distribuição massa-energia, mas não unicamente determinada por ela. Isto mostra que o primeiro sentido de absoluto não implica no terceiro. (tradução minha).

pode ser dependente do campo gravitacional e, ainda assim, ser independente enquanto estrutura (frame):

The second and third senses of “absolute” are also independent of each other. A feature can be frame independent and still be dynamical or matter-field dependent. An example is proper time in general relativity. Proper time is a function of general relativistic metric (it measures “distance” along timelike curves) and therefore dynamical, but it is absolute in the sense of being frame independent. In special relativity, on the other hand, proper time is absolute in both the second and third senses. Similarly, a feature can be frame dependent yet not dynamical. (Friedman, 1983, pg. 65)³¹.

O newtonianismo é, claramente, um absolutismo nos três sentidos. Mas a pergunta que devemos nos fazer é pelos três sentidos em contexto das teorias relativísticas. A primeira tese é problemática no contexto da relatividade geral. Pode-se dizer que é, de fato, a mais problemática das três. A geometria do espaço-tempo de Minkowski, por exemplo, é determinada pela distribuição dos corpos que atuam como agentes na sua estrutura completa (a suposição mais forte seria dizer que é exaustivamente determinada, numa condição tal que o princípio de Mach fosse satisfeito). E o espaço, que antes era newtoniano, considerado pura passividade na física clássica, tem sua própria e decisiva atuação na física relativística. Isso põe a pergunta pela possibilidade de se falar em independência do espaço-tempo em relação aos fenômenos em geral. Contudo, há um sentido em que essa independência claramente se dá. Em “a”, por exemplo, se o interpretamos de um determinado modo, o único sentido propriamente ontológico das três teses exige que o espaço-tempo não dependa em si mesmo da matéria para existir. Por essa razão, se puder ser mostrado que não há independência do espaço em relação aos objetos que estão a estabelecer relação causal, então se pode fazer, supostamente, algum tipo redução à maneira relacionista. Ora, a tese que relaciona o espaço-tempo com a matéria e atribui primitividade à segunda é justamente

³¹O segundo e terceiro sentido de *absoluto* também são independentes entre si. Um aspecto pode ser independente de um sistema (frame) e ainda assim ser dependente, para a dinâmica, de um campo material. Um exemplo é o próprio tempo na relatividade geral. O próprio tempo é uma função da métrica na relatividade geral (para medir *distâncias* ao longo de *timelike* curvas) e, portanto, é dinamicamente dependente, mas ele é absoluto no sentido de um *frame* independência. Na relatividade especial, por outro lado, o próprio tempo é absoluto em ambos, no segundo e terceiro sentido. Similarmente, um aspecto pode ser independente de um *frame* e, ainda assim, dependente para a sua dinâmica. (tradução minha).

aquela que pertence ao corpo de doutrinas relacionistas. Os três sentidos que a tese absolutista assume têm o seguinte escopo: independência; invariabilidade; irreducibilidade. O substantivista há de corroborar a independência e a irreducibilidade, mas se quiser ser coerente realmente com a física relativística terá de torná-las plenamente consistente com o elemento de variabilidade presente ao resultado conhecido como simultaneidade da relatividade e com o resultado da relatividade geral. A tese “c”, como acima pensada, tem sido historicamente a mais abordada. Relacionistas como Mach tentam realizar o que posso agora chamar de redução machiana: reduzir todos os elementos presentes à descrição do movimento a uma interação material. É um dado histórico que o chamado princípio de Mach tenha atuado como influência para a construção da teoria da relatividade. Ao longo do tempo, o chamado princípio de Mach foi diversas vezes enunciado de muitas formas. Em um texto de 1915, Moritz Schlick (1882 - 1936) foi o primeiro a se referir explicitamente a ele. Posteriormente, em 1918, Einstein também o fez nestes termos:

... Princípio de Mach: O campo-G é completamente determinado pelas massas dos corpos. Como massa e energia são idênticos de acordo com os resultados da teoria especial da relatividade e a energia é descrita formalmente através do tensor de energia simétrico (T_{μ}), isto significa que o campo-G é condicionado e determinado pelo tensor energia da matéria. (Apud Assis, 1999, pg. 139).

Chamou-o assim, pois o princípio representava bem a exigência machiana de que houvesse uma redução de tudo o que é efeito inercial à matéria. Em 1964, Wheeler enuncia o princípio do seguinte modo: “A geometria do espaço-tempo, e, portanto, as propriedades inerciais de toda partícula de teste infinitesimal são determinadas pela distribuição de energia e fluxo de energia através de todo espaço” (Wheeler, 1964, pg. 305). Mas o desenvolvimento da teoria relativística parece conter mais desafios para a tentativa de provar a incorporação do princípio de Mach pela teoria da relatividade. Por exemplo, se o espaço pode ser eliminado da descrição do movimento, nem por isso deixa de ter, na teoria da relatividade, uma importância topológica:

O intervalo de espaço-tempo é uma propriedade invariável do espaço-tempo da TRR (teoria da relatividade restrita), visto que o lugar para onde uma partícula deslocar-se-á em seguida no espaço-tempo é um fato que pode ser estabelecido de todos os pontos de vista, de todos os

sistemas de referência do espaço-tempo. (...) Logo, a MR (redução machiana) não pode ser verdadeira dentro da TRR. O espaço-tempo da relatividade restrita é tratado como uma substância com propriedades geométricas específicas. (Ray, 1993, pg. 188).

Um ponto importante é a diferença existente entre as duas teorias da relatividade. A relatividade geral, por exemplo, parece ser mais consistente com o relacionismo na medida em que entende a matéria como um campo de massa/energia se relacionando diretamente com a estrutura afim do espaço-tempo ³². Mas a referência óbvia a aspectos topológicos é novamente a salvaguarda do substantivismo: “Portanto, o fato de a TRG envolver uma relação explícita entre estruturas métricas afins e a matéria não tem implicações imediatas no que concerne à independência topológica do espaço-tempo na TRG (Ray, 1993, pg. 189). A conclusão deste capítulo é pelo desenvolvimento e trajetória históricos desse debate. A tese que estive a defender é: absolutismo e relacionismo são doutrinas que subsistiram ao contexto das mudanças radicais que operam a física newtoniana e einsteiniana. Mudou-se o contexto e o alcance de algumas questões, mas as teses metafísicas possíveis continuam presentes aos trabalhos dos filósofos que se dedicam ao estudo do espaço e do tempo, embora a mudança de orientação na física cause constante reinterpretação nas doutrinas e novos argumentos, novos desenvolvimentos. O caminho escolhido para isso foi mostrar que não há isolamento das teses, apesar das radicais mudanças pelas quais a teoria da gravitação, por exemplo, tem passado. Ainda que ficasse provado que o argumento newtoniano não funciona, restaria a questão pela referência à topologia do espaço-tempo, pela geodésica, pelas referências as mais diversas que os físicos e filósofos se sentem compelidos a fazer, acabando por, inadvertidamente, reintroduzir espaço e tempo como elementos irredutíveis das explicações físicas e filosóficas sobre o Universo. Veja como o éter, caso bastante discutido, pode revelar-se importante. O éter luminífero, como fôra chamado, implicava em certas dificuldades para a eletromagnética. Todas as tentativas de encontrá-lo

³²O tema do “espaço afim” é definido como um dos níveis de abstração para a descrição geométrica do espaço-tempo. O primeiro desses níveis é o “espaço afim”, onde as distâncias não são bem definidas. Mas há, apesar dessa indefinição, paralelismo. O paralelismo indica, para planos ou retas, não haver intersecção e estarem, no caso das retas, direcionadas a um mesmo ponto ou direção. Há paralelismo para planos e retas no espaço quando o primeiro contém o segundo, e para planos quando os mesmos não se intersectam. Em uma estrutura afim não se pode perguntar, por exemplo, qual a distância entre dois pontos, mas é ainda possível se perguntar pelas “curvas”, por exemplo: a curva que denominamos entre *a* e *b* é mais “reta” que outra possível? Há ainda outros graus de abstração, ambos fascinantes, como, por exemplo: “variedade diferencial”, “coordenadas e topologias”, “conjuntos”, etc. Para mais detalhes técnicos, ver em Sklar (1974, pg. 49). Agradecimentos especiais ao professor Osvaldo Pessoa Junior (USP) pelos esclarecimentos sobre isso.

havam falhado. A teoria de 1905 não é, como se pensa, incompatível com o éter, mas torna sua existência desnecessária ou, nas palavras de seu autor, supérflua:

A introdução de um éter luminoso se mostrará supérflua, posto que a ideia que se desenvolverá aqui não exigirá um “espaço em repouso absoluto” dotado de propriedades especiais, nem requer um vetor velocidade em um ponto do espaço vazio onde ocorrem eventos eletromagnéticos. (Apud Scientia Studia, pg. 568).

Contudo, quinze anos mais tarde, o autor da teoria da relatividade esteve a repensar o estatuto do éter, considerando sua decisão anterior demasiado radical (Einstein, 2005, pg. 166). Einstein chegou mesmo a reivindicar, para a consecução da teoria da relatividade de 1917, o éter que seria identificado com o espaço-tempo dotado de propriedades físicas reais. É possível se referir ao “vácuo quântico” para a compreensão das propriedades “físicas do espaço”. Por oposição ao que se acreditava ser o “vácuo absoluto” (o qual se mostrou inconsistente com o princípio de incerteza de Heisenberg), o chamado “vácuo quântico” mantém propriedades físicas reais, tais como as “partículas potências”: pares de matéria e antimatéria virtuais, os quais estão constantemente sendo criados e destruídos. A associação com o vácuo quântico é interessante, sobretudo, porque ele é invariante ante mudanças de sistemas inerciais:

[...] segundo a teoria da relatividade geral o espaço é dotado de qualidades físicas; portanto, neste sentido, existe um éter. Segundo a teoria geral da relatividade é impensável a existência de um espaço sem éter, porque em um espaço assim não só resultaria que nunca haveria propagação da luz, se não que, ademais, não seria possível a existência de réguas ou de relógios, pelo que tampouco haveria distâncias espaço temporais no sentido da física. Com efeito, não se pode conceber que o éter esteja dotado de propriedades características dos meios perceptíveis, que é a de ser constituído por partes que podem existir no tempo; o conceito de movimento não se pode aplicar ao éter. (Apud Scientia Studia, pg. 568).

A teoria da relatividade (especial e geral) não é ontologicamente comprometida. Com isso significo que, apesar do teor ontológico do éter acima descrito e das razões fortes a serem dadas para considerar o “espaço dotado de propriedades físicas” uma substância, a teoria não implica em substantivismo.

[...] o contexto do espaço-tempo clássico é suficientemente flexível para acomodar versões coerentes de ambas as concepções: a de que todo movimento é um movimento relativo e a de que o movimento implica quantidades absolutas, sejam elas a velocidade, a aceleração ou a rotação; a adequação empírica favorece esta última concepção. (Earman, 1989, cap. 2).

Para ser mais preciso na explicitação de seu não compromisso ontológico, posso usar a definição de “compromisso ontológico” que foi dada por Willard Quine (1908-2000). Para comentá-lo brevemente, basta dizer que uma teoria tem compromisso ontológico no caso de haver, para uma entidade qualquer implícita ou explicitamente admita, uma razão de necessidade tal que a teoria não pode ser verdadeira se tal entidade não for existente:

Uma teoria (regimentada) T está ontologicamente comprometida com um determinado objecto o , respectivamente com objectos de uma determinada categoria C , se, e só se, uma condição necessária para T ser verdadeira é que o objecto o , respectivamente pelo menos um objecto da categoria C , esteja entre os valores das variáveis quantificadas de T . Por outras palavras, T seria uma teoria falsa se o objecto o não existisse, isto é, se não fosse o valor de uma variável ligada da teoria; ou se a categoria C fosse vazia, isto é, se nenhum dos membros de C fosse o valor de uma variável ligada da teoria. No caso da existência singular (existência de um objecto em particular), se uma teoria T contém, ou implica logicamente, uma frase ou afirmação da forma geral $\exists x a = x$, em que a é um termo singular, então T está ontologicamente comprometida com o objecto a . Com efeito, para T ser verdadeira, a tem de estar entre os objectos sobre os quais a variável objectual x , ligada pelo quantificador existencial, toma valores; note-se que aquilo que aquela frase diz é precisamente que a é o valor de uma variável quantificada, ou que a existe. (Branquinho, 2004, pg.161-166).

As teorias da relatividade seriam “comprometidas ontologicamente” com o relacionismo, se e somente se, para qualquer fenómeno espaço-temporal, existir uma relação material que a ele seja correspondente e, caso essa relação seja falsa, as teorias da relatividade também serem falsas. As teorias estariam comprometidas ontologicamente com o substantivismo caso a verdade das teorias dependessem da

admissão do espaço e do tempo como realidades de alguma natureza e fossem inelimináveis, sob pena de falsidade nas mesmas. O primeiro caso não é verdadeiro, pois, como pretendo mostrar pela leitura de muitos autores, as reduções diversas do espaço e do tempo, dentre elas aquela que resulta da aceitação do princípio de Mach, são apenas uma esperança, não estando implicadas pelas teorias da relatividade e nem tampouco plenamente realizadas, apesar da inicial adesão do relacionismo por filósofos que vieram a pensar a teoria, como Reichenbach e Schlick. O segundo caso também não é verdadeiro, pois a teoria pode ser interpretada de tal modo, como por exemplo o faz Carlo Rovelli (2006) e Grünbaum (1973), que, para efeito de espaço e tempo, unicamente se admite na ontologia a figura do campo gravitacional, embora essa defesa tenha a dificuldade apontada de ser dependente da validade do princípio de Mach, ou então explicar como é possível uma redução do espaço e tempo ao campo sem provar que a teoria incorpora esse princípio ³³. Isso significa que há cenários nos quais a teoria é verdadeira e o princípio de Mach não o é.

Vários autores ainda pensam o contexto da relatividade como uma oportunidade para satisfazer as premissas relacionistas, ou, no mínimo, questionar a força da decisão pelo substantivismo. Carlo Rovelli, por exemplo, argumenta dizendo que a relatividade geral, na medida em que atribui o efeito gravitacional a uma relação entre a estrutura afim do espaço-tempo e um suposto campo gravitacional, realiza não só o programa relacionista leibniziano, mas demove o espaço de sua necessidade ontológica promovendo um retorno ao entendimento mais intuitivo que, talvez por isso, sempre fôra visto como relacional em autores clássicos como Descartes e Aristóteles:

Conceptually, what disappears with GR is the idea of space as the “container” of the physical world. As mentioned, this disappearance is not so revolutionary after all: to some extent it amounts to return to

³³Grünbaum adota um relacionismo não machiano. O exemplo deste autor tem muito mais semelhanças com Leibniz do que com Mach. O amorfismo dos pontos no espaço sugere a Grünbaum, tal como a impossibilidade de distinguir intervalos de espaço e tempo (na ausência de relações, como relações métricas, por exemplo) havia sugerido a Leibniz, que os pontos são todos idênticos entre si, razão pela qual só se diferenciam quando as coordenadas entre objetos apresentam diferenças relacionais. O amorfismo é, portanto, uma tese leibniziana (mais uma dentre tantas no contexto da filosofia relacionista) retomada por Grünbaum e fortemente favorecida por aspectos da teoria da relatividade, pois nessa teoria tampouco o conceito de “campo” sugere qualquer diferença que não diferenças puramente relacionais.

the pre-Newtonian view of space as a relation between equal-status physical entities. (Rovelli, 2006, pg. 32)³⁴.

A intenção de Rovelli parece ser a substituição do espaço e tempo absolutos newtonianos por uma “não entidade”, que vem ele a chamar de “*gravitational field*”; ou seja, propõe um novo entendimento desses conceitos e sugere que essa reinterpretação é possível para uma física relativística, em posse do arcabouço conceitual da relatividade e de suas exigências:

I argue that lesson of general relativity is that at our present state of knowledge the best way for making sense of the world is to discard the notions of space and time. Newtonian space and time can be reinterpreted as aspects of the gravitational field, which is only one among the various dynamical physical fields making up the world. Physical fields do not need to inhabit spacetime in order to exist. (Rovelli, 2006, pg. 01)³⁵.

A título de comentário do trabalho de Rovelli, gostaria de mencionar que apesar de declarado que o espaço-tempo possui o estatuto de um “éter” na teoria da relatividade, ou de suas propriedades físicas e topológicas, a defesa de Rovelli é sustentável. Concordo que o espaço possa ser interpretado a essa maneira, minha ressalva é quanto ao caráter definitivo dessa interpretação. Com efeito, Einstein mesmo e grande parte dos comentadores de sua teoria nunca disseram que a relatividade destituía o espaço-tempo de sua imprescindibilidade, nem que a teoria exigia uma redução ou eliminação radical de seu estatuto. O mais perto do relacionismo que a teoria de Einstein pôde chegar foi, talvez, a influência do chamado princípio de Mach e a tentativa de incorporá-lo efetivamente nas soluções cosmológicas pretendidas pelo próprio Einstein:

³⁴ Conceitualmente, o que desaparece com a GR é a ideia de espaço como um “*container*” do mundo físico. Como mencionado, este desaparecimento não é assim tão revolucionário. Até certo ponto, isso equivale a um retorno a uma visão pré-newtoniana do espaço como uma relação entre *equal-status* entidades físicas. (tradução minha).

³⁵ Eu argumento que a lição da relatividade geral é que no presente estado de nosso conhecimento a melhor maneira de fazer sentido a respeito do mundo é promovendo um abandono das noções de espaço e tempo. O espaço e tempo newtonianos podem ser reinterpretados como aspectos do campo gravitacional (*gravitational field*), o qual é apenas uma das muitas formas com que campos físicos atuam no mundo. Campos assim não precisam habitar um espaço-tempo para existir. (tradução minha).

Einstein encontrou uma solução estática e espacialmente fechada para suas equações de campo, que durante pouco tempo acreditou que seria totalmente machiana. Mas o trabalho do físico holandês De Sitter demonstrou que as ideias de Einstein não eram totalmente coerentes com o princípio de Mach. (Ray, 1993, pg. 182).

No mais, se ficamos com as palavras do próprio Einstein, não é nenhum exagero que defendamos o substantivismo como sendo consistente com a teoria da relatividade.

No capítulo a seguir gostaria de prosseguir enumerando algumas das principais exigências que devem ser cumpridas por uma ontologia relacionista. Em outras palavras, há um corpo de resultados que é baseado em interdições e limites que o relacionismo impõe às doutrinas sobre espaço e tempo. Dissertar apresentando o relacionismo como uma doutrina que se impõe determinadas restrições será importante para mostrar que, não obstante a referência ao espaço e ao tempo seja sempre problemática, tanto nos *Principia* como nas teorias da física contemporânea, não é menos problemático que essas exigências são cumpridas por teorias como a relatividade restrita e relatividade geral. Ora, uma importante objeção que pretendo fazer ao relacionismo diz respeito ao seguinte: se o programa relacionista pode ser bem caracterizado como um conjunto de exigências que são feitas às doutrinas do espaço e tempo e puder ser igualmente demonstrado que esse conjunto de exigências não é cumprido por teorias importantes como relatividade restrita e geral, então estou em posse de uma importante via argumentativa para oferecer resistência ao relacionismo e sua exigência restritiva, uma vez que as mesmas não puderam ser cumpridas pela teoria mais satisfatória que atualmente temos sobre o espaço-tempo.

III. O relacionismo e suas exigências.

O relacionismo será agora classificado como uma doutrina capaz de se impor (e, segundo o relacionista, satisfazer) determinadas exigências. Em verdade, essa distinção depende de que se reconheça que essa doutrina é existente graças à necessidade de que sejam, essas exigências, satisfeitas para a consecução de uma teoria que corresponda a uma caracterização do fazer científico e filosófico. A que tipo de demanda corresponde mais exatamente o relacionismo? Se olharmos para os expoentes do relacionismo, veremos filósofos de escolas muito diferentes. Em um certo sentido é Aristóteles relacionista. Também o é Descartes, Leibniz, Mach e, mais recentemente, os filósofos Earman e Norton com a inquietante questão batizada de *“hole argument”*. É possível encontrar entre todos uma expectativa comum que nos direcione para o tipo de teoria que se deseja como aceitável e, somente então, darem-se as razões das exigências referidas? Acredito que isso não é possível por motivos relativos ao tempo próprio de cada filosofia e de cada escola a que pertencem. Contudo, as exigências a serem mencionadas dão-nos um ideal de teoria mais ou menos compartilhado, que mesmo os autores não relacionistas podem adotar e, quando se fala em relacionismo, a associação mais hábil em favorecer o caráter dessa objeção é atribuir a ela sua proposta antimetafísica, muito aparentada com o que posso chamar, para a finalidade desse capítulo, “empirismo mínimo”³⁶, ainda que alguns relacionistas sejam metafísicos importantes. É problemático definir empirismo, como é problemático atribuir o mesmo caráter a todo relacionismo existente. Apesar disso, há critérios elogiáveis para o fazer filosófico e científico, muitos deles inspirados por alguma postura notadamente empirista, certamente razão de centro nas preocupações do relacionismo contemporâneo:

“À luz dessas considerações, que indicam a multiplicidade das propostas empiristas, surge o problema de esclarecer em que sentido o termo “empirismo” poderia denotar uma e mesma concepção, não

³⁶ A associação entre relacionismo e empirismo (seja empirismo lógico, seja uma abordagem construtivo-semântica como em van Fraassen) merece relevante discussão, em um contexto mais detalhado. Max Jammer, por exemplo, reconhece na inspiração machiana uma fonte de contato que ainda hoje se busca alcançar (Jammer, M, 2010, cap. V.) É perfeitamente possível, como estou a defender aqui, aceitar que há uma proposta mais ou menos compartilhada para uma teoria do espaço e do tempo, cujas qualidades são satisfazer a essa demanda herdada de críticas empiristas a concepções metafísicas em geral, não apenas no que diz respeito a espaço e tempo.

obstante as diversas (e distintas) abordagens que se encontram sob sua égide. Esse ponto, contudo, como já adiantei, é de difícil consideração, quer sob uma perspectiva histórica, quer a partir de um ponto de vista exclusivamente filosófico”. (Bueno, 1999, pg. 22,23).

Uma teoria deve ser capaz de resolver problemas a que se propõe; deve ser simples e elegante; deve ser, tanto quanto possível, verificável; deve ter axiomas e premissas; deve ser logicamente consistente; etc. A principal característica que está a unir, contudo, a proposta relacionista em torno de um “empirismo mínimo”, subjaz implicitamente no corpo dessas doutrinas, e é a exigência por um conteúdo representacional nas teorias que atue explicativamente sem compromisso com entidades transcendentais de alguma natureza:

Em oposição a (pelo menos) essa forma de pesquisa metafísica, o empirista colocar-se-á – e esse exame crítico caracteriza, de fato, o componente *negativo* intrínseco ao empirismo. Nesse sentido, ao elaborar sua argumentação, mostrando, em particular, contrariamente às pretensões metafísicas (1) a existência de certos limites à demanda de explicações, bem como (2) a não admissão de explicações postulacionais (que assumem um mundo transcendente de entidades em termos dos quais os fenômenos em consideração serão explicados), o empirista introduz credenciais mínimas a seu empirismo”. (Bueno, 1999, pg. 22).

Não desejo a defesa de que esses ideais sejam compartilhados por todos os filósofos. Cito-as a título de exemplo, como “ideia reguladora” para o fazer científico e filosófico em geral. Algumas dessas cláusulas são muito polêmicas entre os autores que pensam a ciência, como, por exemplo, a exigência pela verificabilidade e sua real ocupação na prática científica. Outras, como a simplicidade, são quase universalmente aceitas, o que acaba por não ser suficiente para impedir que haja a sua transgressão constante. Enfim, meu desejo aqui é antes mostrar que há uma variedade mais ou menos compartilhada de qualidades admissíveis para uma teoria, seja ela filosófica ou científica, e que essas qualidades são perseguidas pelo relacionista quando da formulação de sua doutrina. Cumpre destacar duas coisas. A primeira delas é que esses não são ainda os critérios de que vou tratar, mas as razões pelas quais esses critérios existem. A segunda é relativa ao fato de que os critérios referidos estão implícitos ou explícitos, a depender do autor e da doutrina relacionista a ser destacada. De qualquer

modo, é válida a tentativa de mostrar que esses supostos critérios têm uma relação forte com expectativas reais para uma boa doutrina em filosofia e ciência. Por exemplo, no primeiro capítulo foi falado de uma suposta influência do empirismo nas críticas que veio a receber o autor dos *Principia*, como se vê em filósofos apenas superficialmente aparentados pela orientação empirista de que eram provenientes, como Berkeley e Mach. Feitas essas ressalvas, apresento agora de maneira mais detalhada, nas seções subseqüentes, quais são, a meu ver, as exigências responsáveis pelo relacionismo, todas elas conflitantes com aspectos muito significativos da doutrina de Newton.

III. 1 O chamado princípio de Mach:

Já tive oportunidade de dissertar sobre ele e seu surgimento pelas mãos do próprio Einstein. Faço a ressalva de que esse princípio, como outros, tem o seu pressuposto no desejo de que a ciência seja um determinado tipo de discurso, com características muito próprias. Mach foi um grande filósofo da ciência, sua influência se estende até hoje e seu nome esteve sempre associado a um programa austero de empirismo, verificação e simplicidade. O notável do chamado princípio de Mach é que ele ilustra exemplarmente o que venho a dizer neste capítulo, a respeito de uma exigência que é, implicitamente, responsável por um tipo de teoria cuja prática pode ser admirada, pois corresponde a um ideal desejável e cujas virtudes não vou querer negar em nenhum momento. O princípio pode ser assim apresentado: a inércia ou efeito inercial é sempre relativo à distribuição das massas no universo como um todo (adota-se um referencial num “ponto” – o centro de gravidade do Universo como um todo). O primeiro filósofo a se referir a essa exigência enquanto princípio foi Schlick, em 1915, como já dissemos. Após ele, Einstein também o fez em 1918, associando definitivamente, na história da teoria da relatividade, o nome de Mach e certas expectativas para essa teoria. Einstein trabalhou a sua própria teoria para que esta pudesse ser um reflexo das expectativas que a filosofia da ciência em Mach havia desenvolvido. Mas a adoção de seu modelo de Universo, estático, fechado, de curvatura positiva e finito, não teve como motivação única a adoção desse princípio machiano. A “constante cosmológica”, quando introduzida, contribuiu efetivamente para a realização de uma teoria a essa maneira. Para o bem da verdade histórica, a importância da adoção de uma perspectiva machiana deve ser comentada passo a passo, pois para a alteração das equações de campo e a introdução da constante cosmológica há muitas razões imediatas, sendo o desejo de criar uma teoria machiana um componente presente enquanto motivação compartilhada, isto é, sem exclusividade. A motivação de Einstein era alcançar a estabilidade para o assim chamado Universo estático. Mas se nos perguntarmos por que razão Einstein desejava um modelo estático, teremos que, para uma teoria rigorosamente machiana, um Universo a essa maneira era preferível, principalmente por ser finito e não ter de cumprir com condições de contorno. Contudo, essa motivação se associa à realização de um Universo estabilizado, no qual não houvesse colapso de todo o Universo. Então se

pode dizer com mais correção que a razão pela qual as equações de campo foram modificadas são relativas à necessidade de evitar tal colapso, lidando com problemas que eram comuns mesmo à cosmologia pré-einsteiniana. O mesmo problema, por exemplo, apresentou-se a Newton, cuja solução foi decidir-se por um espaço infinito, dotado de matéria infinita e uniformemente distribuída. Esse momento de sua solução pode ser encontrado em uma carta que o autor dos *Principia* escreveu a Richard Bentley (1662-1742), na qual se expressa como acima na resolução desse problema, apostando na distribuição uniforme da matéria por todo espaço infinito a formar “um número infinito de grandes massas espalhadas a grandes distâncias umas das outras por todo esse espaço infinito”. (Newton, 1692). Apesar disso, o tipo de problema que se apresentava a Newton permanecia a Einstein: como evitar o colapso de um Universo finito, cujo conteúdo material fosse finito e estático? A diferença entre esses autores era que, em Newton, seu espaço era infinito, enquanto que para Einstein não o era. Isso por si só não solucionava o problema, pois que um Universo finito com matéria finita resultaria na atração mútua sobre um ponto, admitindo o colapso indesejado. Mas se for perguntado por que Einstein não pôde trabalhar, inicialmente, com a hipótese de um Universo aberto ou infinito, muitas razões deveriam ser apontadas, principalmente se consideramos que sua opção pelo Universo fechado e finito teria de se ocupar dos problemas com que se abateu Newton, porém, sem a possibilidade de solucioná-los de uma maneira parecida com a que empreendeu o genial cientista britânico. A solução de Newton não convenceu a todos, pois havia problemas relativos à possibilidade de determinar um potencial gravitacional, a saber, a postulação de matéria infinita e o sentido que tem um potencial gravitacional e uma força gravitacional que fossem infinitas. A física só pode trabalhar a valores que são finitos, e a atração infinita de qualquer corpo em todas as direções implica que tanto o potencial quanto a força que estejam a atuar sobre qualquer corpo não podem ser definidos (Ray, 1993, pg. 239). Carl Gottfried Neumann (1832-1925) enfrentou o problema newtoniano, achando para ele uma solução que considera a matéria finita em um espaço infinito! Isso merece a nossa atenção, pois a solução de seu texto da década de 1890, sobre mecânica newtoniana, tem um parentesco significativo com aquela que foi empreendida pelo próprio Einstein. Outro autor a ser citado nesse contexto é Hugo von Seeliger (1849-1924). O próprio Einstein reconheceu a dívida que tinha com este último, em um texto de 1959. Neumann, por exemplo, foi responsável pela introdução de um “termo cosmológico” $\gamma\Phi$, o qual teria por efeito uma força de repulsão que equilibrasse a força de atração. Definitivamente, sem o “termo

cosmológico” e em presença de um cenário finito, o único resultado possível era o colapso. Poderia Einstein ter se adiantado à cosmologia da época e optado por uma cosmologia de Universo não fechado e finito?

Apesar de o universo estático possuir uma alta linhagem empírica, Einstein mostrou ser imaginativo o bastante para não se deixar prender pela sabedoria convencional. Se tivesse adotado uma abordagem mais ousada, como insistem autores como Pais, Einstein poderia ter antecipado teoricamente as festejadas descobertas observacionais da recessão global das galáxias, feita por Hubble em 1929. (Ray, 1993, pg. 246).

Faltava a Einstein uma evidência empírica que trabalhasse essa hipótese, pois, efetivamente, o “desvio para o vermelho (*redshift*)” só pôde ser descoberto muito adiante, por Hubble. O fato de o próprio Hubble ter trabalhado com a hipótese de Universo estático, ainda após a sua descoberta, e o fato de que não a considerou suficientemente decisiva, pelo menos não de imediato, apoiado nisso por boa parte da comunidade científica, mostra que as soluções “infinitas” e “abertas” não eram tão simples de serem concluídas. Os problemas e soluções alternativos com os quais o astrônomo trabalhara, cujo testemunho é de que não era simples (mesmo após a descoberta do *redshift*) concluir por uma solução satisfatória, podem ser encontrados e discutidos em um texto de 1937, intitulado “O enfoque observacional da cosmologia” (Hubble, 1937). Um problema que surgia para compatibilizar a hipótese de Universo em expansão com os dados da constante de Hubble, os quais inicialmente apontavam a um Universo demasiado jovem e pequeno, era a imensa velocidade de recessão para o afastamento das galáxias distantes. Por essas razões, ainda em 1937, o autor permanecia reticente quanto à conclusão do “desvio para o vermelho”. Posteriormente, quando nos anos cinquenta a lei de Hubble foi revisada, soluções alternativas como a de Lamître se tornaram mais prestigiadas entre a comunidade científica. Essas dificuldades com as quais lidavam os astrônomos e cosmólogos testemunham em favor de Einstein, que não foi capaz de prever o Universo em expansão. Também fazem com que pensemos a relação entre constante cosmologia e princípio de Mach de maneira mais apurada, pois se havia muitas razões e credenciais empíricas pelas quais o Universo estático podia prevalecer, e mesmo o “redshift” não sugeria a mobilidade das galáxias distantes, pelo menos não inicialmente (como nos mostram os anos subsequentes a 1929 e a produção

do próprio Hubble sobre isso), então as razões puramente filosóficas para a adoção da constante cosmológica somam-se a razões empíricas, retirando-lhe do desejo de ser machiano o estigma de *ad-hoc*, no que diz respeito à adoção da constante, e gozando a introdução da mesma de qualificações menos superficiais, justificando-a como alternativa assertiva nos anos que Einstein escrevia sobre relatividade geral. Ademais, pelos idos dos anos de 1917 e 1918, a evidência empírica disponível apontava apenas para um Universo globalmente estático e cujas estrelas fossem em número finito. Quando somadas a essa evidência, o desejo de cumprir com o princípio de Mach ganha em motivação.

Retomando a discussão sobre isso, cumpre ainda apresentar algumas das diversas formas pelas quais o princípio se fez conhecer na história da filosofia do espaço e do tempo, ambas mostrando que sua exigência não permite, se cumprida, a realização de nenhum sentido para a palavra “absoluto” na ontologia do espaço e do tempo. Para bem apresentá-lo, comento a seguir, de modo geral, alguns recortes em que me baseio para essa coleção de referências ao princípio de Mach:

Os referenciais inerciais são aqueles que não estão acelerados em relação às ‘estrelas fixas’, isto é, em relação a uma média definida convenientemente de toda a matéria do Universo. (Sciama, 1953, pg. 34-42).

Se a inércia não é devido ao movimento em relação ao ‘espaço absoluto’, ela tem de ser devido a matéria ao redor do corpo. (Brown, 1955, pg. 672-678).

O ‘programa de Mach’ significa a intenção de entender todos os efeitos inerciais como sendo causados por interação gravitacional. (Kaempfer, 1958, pg. 151-159).

As propriedades inerciais da matéria no ambiente local são derivadas de alguma forma a partir da existência das massas distantes do Universo e de suas distribuições espaciais. (Schiff, 1964, pg. 510-511).

O movimento e conseqüentemente a massa de cada um dos corpos é determinada (causada, produzida) pelos outros corpos no Universo. (Bunge, 1966, 585-596).

O princípio de Mach, tal como originalmente anunciado, afirmava que todo sistema inercial local – isto é, todo sistema de coordenadas locais em que as leis de Newton são válidas – dependia intrinsecamente da distribuição da massa no Universo. (Jammer, 2010, pg. 236).

A massa inercial de um corpo é causada por suas interações com outros corpos no Universo. (Reinhardt, 1973, pg. 529-537).

As forças inerciais devem ser geradas inteiramente pelo movimento tem relação à matéria. (Raine, 1981, pg. 1151-1195).

As formulações acima, emprestadas de uma diversidade de autores, têm uma unidade entre si. Essa unidade pode ser reconhecida como inspirada pelo empirismo de Mach e representa, sobretudo, o desejo de uma mecânica livre de forças ou grandezas absolutas. A sua implicação para uma ontologia é evidente. Se não há nenhuma exigência dinâmica pelo espaço absoluto, isso pode significar que, pelo menos enquanto referencial para o movimento, o espaço e tempo absolutos newtonianos não cumprem qualquer função. Mas pode-se estender o argumento e fazer dele uma exigência para a ontologia? Ou seja, o espaço e o tempo podem, se os eliminamos em sua função para a dinâmica e os provamos supérfluos, ser eliminados de nossa ontologia sem prejuízo de qualquer tipo?

Como muitos autores reconhecem, o conceito envolvido nas definições e referências a esse princípio não encontra em Mach menção ou definição que nos sirva de paradigma. Seguirei então o habitual nesse caso, que consiste em se referir ao princípio como uma sorte de comentários mais gerais de Mach, implicados em seu programa reducionista e reformista para a mecânica e para as ciências em geral.

III. 2 A chamada redução machiana;

Quando dissertava sobre aquilo que chamamos redução machiana, tive a oportunidade para falar de forma muito geral sobre o quanto é duvidoso que a relatividade, como se esperava, pudesse realizar o programa relacionista. Agora meu desejo é, mais propriamente, explicá-la mencionando sua relação com o princípio de Mach, sua diferença e contribuição específica. O princípio de Mach é, talvez, a mais desafiadora das exigências feitas à descrição física do movimento. O alvo é sempre o espaço absoluto newtoniano e seu suposto papel na realização dos *Principia*. A chamada redução machiana, por sua vez, é um agravante da aceitação do princípio. O princípio, por razões relativas à eliminação do espaço e tempo absolutos, exige que o discurso ontológico possa relegar ao espaço e tempo um papel diferente e, em última instância, tudo o que for resultado científico deve ser única e expressamente atribuído a certa relação entre matéria e energia, razão pela qual se realiza uma mecânica relativística sem qualquer menção a grandezas ou velocidades absolutas. A redução opera, no seio da teoria machiana, uma constatação surpreendente que seu autor veio a realizar: mesmo nos *Principia* não há uma aplicação ineliminável do espaço absoluto, seja para sua importância à dinâmica, ou mesmo para a constituição de uma ontologia possível. Em 1883, Mach insistiu na ideia de que Newton não havia feito nenhuma aplicação suficientemente séria do espaço e tempo absolutos. Nesse ponto Mach é quem parece ter razão. Newton falou bastante em espaço absoluto, mas a “experiência” do balde em rotação, para que um exemplo seja citado, não pode ser considerada uma aplicação do espaço absoluto e, em verdade, Mach deu a única alternativa que se pode realizar na física, para a consideração de forças dinâmicas e sua verificação. Só é possível fazê-lo elegendo sistemas de referência com os quais se pode, relativamente, ter notícias de que há movimento. Eis uma maneira de definir a redução: o conceito de espaço e tempo deve ser apenas instrumental na consecução de uma teoria e, tudo o que for atribuído ao espaço e tempo pode ser atribuído a certas relações materiais.

III. 3 Exigência pela observabilidade;

O fato de espaço e tempo não serem observáveis determina dificuldades apenas ao substantivismo. O relacionismo pode ser classificado como uma doutrina negativa, essencialmente? É antes a negação da substancialidade do espaço-tempo do que propriamente uma proposta ontológica? Ao dizer que tudo o que existe são relações espaciais e temporais, fica-se com a sensação de que o relacionismo é apenas a negação de que o espaço e o tempo tenham existência real (se não como relações reais). Como não é propriamente uma “ontologia positiva”, não precisa apresentar ao lugar do espaço-tempo substancializado nada de muito concreto. A redução de todos os fenômenos espaciais a relações seria antes a negativa de que algo substantivo pode ser apresentado na caracterização do espaço-tempo. Eu estou assumindo que o relacionismo faz exigências pela observabilidade e, na impossibilidade de que o espaço e tempo em si mesmos possam ser apresentados, fica-se com a chamada “doutrina negativa”. Contudo, desejo questionar a resposta negativa relacionista. O farei reclamando à relação a que se reduz o espaço-tempo um “*status*” problemático. Assim, pode-se dizer que nego ao relacionismo sua essencialidade negativa. Com efeito, falta ainda a compreensão de que o relacionista não pode dizer especificamente do tempo qual é a relação a que ele se reduz. Isso porque as candidatas a relações suficientemente originárias são muito problemáticas, sobretudo de um ponto de visto lógico, mas também de um ponto de vista físico. Ainda assim vale a ressalva de que a exigência pela observabilidade tem levado muitas vezes o relacionista a se advogar uma vantagem que não existe, pois seria ele capaz de apresentar relações (relações de sucessão e simultaneidade) quando o substantivista não pode apresentar a sua “substância”, uma vez que os alegados pontos no espaço e no tempo não admitem experiência direta ou observação. Em resumo, não é nada claro qual é a relação suficientemente capaz de instaurar o tempo, relação essa sem a qual o tempo não pode existir e, portanto, se não for concedido ao relacionista que sua doutrina é só a refutação do substantivismo, pode-se questioná-lo exatamente neste ponto e dizer não ser suficiente que relações sejam apresentadas: é preciso primeiro mostrar que sem essas mesmas relações não há tempo! Se o substantismo não pode mostrar ou observar diretamente o espaço-tempo, tampouco pode o relacionista mostrar que sua redução é realmente realizada, embora possa mostrar algumas relações. Se for possível mostrar que há espaço ou tempo na ausência dessas relações, fica então a

questão pela relação observável e originária que seja capaz de ocupar o espaço da redução.

III. 4 Exigências leibnizianas;

Chamo de exigências leibnizianas as duas restrições que, de certo modo, já foram discutidas aqui. Tratam-se de restrições relativas a dois elementos da filosofia de Leibniz: o princípio de razão suficiente e o princípio da indiscernibilidade entre idênticos. Os dois princípios assumem, relativamente a Leibniz e sua filosofia, razões teológicas para negar o absolutismo. Esse passo já foi mencionado e não pretendo analisá-lo profundamente. Contudo, a importância da argumentação leibniziana se dá quando se mostra sua influência sobre a posteridade, sobretudo no chamado “*hole argument*”. Gostaria de discutir nesse espaço o caráter propriamente leibniziano desta questão. A seguir apresentarei um tipo de restrição muito particular que, não cumprida pelo substantivismo, deixa o relacionista em vantagem graças à força que esse argumento possui. Vou me concentrar aqui em uma breve apresentação deste argumento, inspirada em John Norton (1987), John Earman (1987; 1989) e Paul Teller (1991). A caracterização de Teller, por ser bastante didática e envolver analogias facilmente assimiláveis, será, contudo, a mais utilizada para a finalidade desta seção. A relatividade geral é caracterizada como determinista. Não vou apresentar agora qualquer definição de determinismo ³⁷. Apenas trabalharei, para a finalidade deste capítulo, com a possibilidade de caracterização geral do determinismo segundo a previsibilidade de fenômenos físicos que uma teoria é capaz de predicar com antecedência, quando verdadeiramente determinista. A relatividade geral é, então, determinista nesse sentido. Para entender o “*hole argument*” é preciso entrar em detalhes mais técnicos que por ele são exigidos, mesmo para uma caracterização breve. As equações da relatividade geral são covariantes. É por isso que são escritas na forma de tensor, pois o tensor permite a propriedade geométrica necessária para a caracterização do espaço-tempo, em uma geometria exigida. O uso de tensores revela um compromisso com a descrição física do Universo em forma de uma “geometria do mundo”. A covariância permite a adoção de qualquer sistema de coordenadas para caracterizar o múltiplo do espaço-tempo. Escolher um sistema de coordenadas de modo arbitrário é uma possibilidade garantida pela teoria da relatividade e sua covariância. Se, por exemplo, redistribuímos toda a matéria do Universo em uma região especificada do espaço-tempo, disso resulta um espaço-tempo novo, mas com exatamente a mesma descrição física. Isso é também

³⁷ Para uma apresentação de algumas das definições presentes à literatura, ver nesta dissertação cap. IV, pg. 107 em diante.

resultado das propriedades formais das equações covariantes. Um “buraco” cuja distribuição da matéria esteja realizada, com a suposição da relatividade, pela qual um tensor energia-matéria esteja a definir a sua situação física, faz a exigência leibniziana perfeitamente acomodável com um desafio determinista para a possibilidade da distribuição física dessa porção no espaço-tempo.

À parte as especificações mais técnicas, se para equações de campo covariantes G_{ik} e T_{ik} há uma solução admissível nos termos (M, g, T) , então são igualmente admissíveis os termos $(M, d * g, d * T)$ para algum M , havendo uma liberdade de escolha para o difeomorfismo d . Isso significa que as soluções (M, g, T) e $(M, d * g, d * T)$ são modelos da teoria, dotados de difeomorfismo para uma região do espaço-tempo, uma região qualquer onde existe um buraco. O conceito de difeomorfismo é um conceito para variedades isomórfas, aplicado ao múltiplo possível do espaço e do tempo, em uma região.

A questão que se impõe, para entender o paralelo com Leibniz, é: para poder especificar pontos individuais no espaço-tempo é necessário que possamos distingui-los, pois, caso contrário, não seria possível que dois mundos equivalentes fossem “produzidos” pela teoria. Earman trabalha especificamente o paralelo entre o desafio epistemológico leibniziano e o desafio determinista do “*hole Argument*”:

I am morally certain that Leibniz would have endorsed the argument of sections 3 and 4; indeed, I think that he would have claimed it as his own. The claim has some plausibility. Although Leibniz never advocated the mutability of space-time structure, mutability is a comfortable companion to his doctrine that space is the order of relations of coexistences and time is the order of relations of successive events. And more important, the core of the argument in sections 3 and 4 consists of an application of the causal version of PSR (princípio de razão suficiente). In his Second Reply, Clarke conceded, "Tis very true, that nothing is, without a sufficient reason why it is, and why it is thus rather than otherwise. And therefore, where there is no cause, there can be no effect" (Alexander 1984, p. 20). Applying the "where there is no cause, there can be no effect" version of PSR to the case of GTR, Leibniz could argue that the difference in the g - and T -fields after $t = 0$ must be traceable to differences before $t = 0$. But by construction, there is no difference prior to $t = 0$. Thus, to avoid a

violation of the causal version of PSR, substantivalism must be abandoned. (Earman, 1989 pg. 185)³⁸.

Segundo Earman, com o que estou disposto a concordar plenamente, o espaço-tempo não só é uma confortável “companhia” para seus termos relativos, mas a estrutura espaço-tempo dotada de qualidades covariantes (a capacidade de mudanças para as descrições de coordenadas) permite-nos uma versão causal do argumento leibniziano, inspirada pelo princípio de razão suficiente. Teller chama ao novo mundo de uma “alternativa de Leibniz”, pois a indiscernibilidade atua entre dois espaço-tempo possíveis, porém, com matéria redistribuída. Em Teller, para uma explicação conveniente do “dilema do indeterminismo” e sua relação com a covariância das equações para a relatividade geral, os conceitos de “mudança passiva” e “mudança ativa” desempenham um papel esclarecedor. A mudança passiva é, inicialmente, indistinguível da mudança ativa. A diferença que opera entre as duas mudanças é a interpretação que, no segundo caso, tem com o substantivismo em comum o fato de que representam alternativas indeterministas para o problema. O que é uma mudança passiva? Entende-se por isso uma mudança que resulta nas mesmas descrições que as coordenadas originais, de modo que, apesar da mudança, a descrição física das posições relativas continua a mesma. Para que uma transformação passiva aconteça é necessário que todas as transformações relativas à transformação original aconteçam, pois só assim haverá, de fato, uma *alternativa leibniziana* onde se aplique, nas palavras de Teller, uma versão *metodológica da indiscernibilidade* - “*the methodological formulation of the indiscernibility argument*”³⁹. O exemplo de Teller opera por analogia. Seja considerada uma alternativa ao nosso mundo na qual as unidades de medida se duplicam para massas. Se não forem igualmente duplicadas, por exemplo, as forças que estão a atuar

³⁸Eu estou moralmente convencido de que Leibniz endossaria o argumento das seções 3 e 4. De fato, penso que ele mesmo poderia tê-lo argumentado. Isso tem certa plausibilidade. Embora Leibniz nunca tenha advogado a mutabilidade para a estrutura do espaço-tempo, tal coisa é certamente uma companhia confortável para a doutrina de que o espaço é uma ordem de relações coexistentes e o tempo uma ordem de sucessivos eventos. E, ainda mais importante, o núcleo da argumentação nas seções 3 e 4 consiste da aplicação de uma versão causal do princípio de razão suficiente. Em sua segunda réplica, Clarck lhe concedeu o seguinte: *É verdadeiro que nada exista sem haver, para tal, uma razão suficiente pela qual possa existir, e é assim preferencialmente, e não de outro modo. E, portanto, onde não há causa, tampouco pode haver efeito.* (Apud. Alexander, 1989, pg. 20). Aplicando uma versão do PRS “onde não há causa, tampouco pode haver efeito” à TRG, Leibniz poderia argumentar que a diferença no *g-e T-fields*, depois de $T=0$ é localizável antes de $T=0$. Mas, pela construção, não existe nenhuma diferença anterior a $T=0$. Assim, a fim de evitar uma violação da causal versão do PRS, o substantivismo deve ser abandonado. (tradução minha).

³⁹ A metodológica formulação do dilema da indiscernibilidade. (tradução minha).

sobre as massas, a alternativa em questão não é leibniziana, pois é possível discerni-las, uma vez que a atuação de forças sobre as unidades de massa são diferentes; tampouco é, nesse caso, possível a construção de um modelo cuja descrição física seja a mesma. Na transformação ativa, o mundo das massas duplicadas ainda é leibniziano, porém, as massas são consideradas absolutamente, como unidades duplicadas dimensionalmente. A transformação passiva é uma transformação nas unidades de medida. Mantêm-se as proporções, de modo que a descrição física é a mesma para ambas as transformações. Dizer que na alternativa leibniziana a unidade de medida tem a metade do valor e as massas dos corpos permanecem as mesmas é conservar as relações. Quando consideradas “absolutamente”, as massas devem ser entendidas como duplicadas, elas e as relações transmissíveis que delas dependem. Quando a transformação é considerada passiva, as unidades de medida são as responsáveis e não se faz a assunção de que as razões e proporções são absolutas, mas relativas às unidades de medida adotadas. Como se deve entender cada mudança em particular, especialmente se notamos que ambos os mundos (dotados de ativa e passiva transformação) são *alternativas leibnizianas*? Teller percebe que uma lei para a conservação de massas pode ser interpretada perfeitamente como uma lei para a conservação de relações de massa, dada uma unidade de medida. Um problema notado pelo autor é que a construção dessas alternativas pode implicar em indeterminismo. Assim, dado um estado qualquer do mundo em um determinado instante, no qual nossas unidades de medida se referem a 1/10, por exemplo, não podemos nos certificar da quantidade de matéria referida, para qualquer tempo, seja futuro ou passado, pois uma transformação tal pode acontecer de modo que nossas unidades de medida guardem essa proporcionalidade para substâncias duplicadas, mas cujas massas sejam o dobro do que eram a princípio. Dez gramas de uma substância qualquer podem significar 1/10 para uma unidade de medida estabelecida e, após uma transformação, passarem a significar o dobro de massa sem que o saibamos ou possamos distingui-lo:

The mass doubling cases present the same kind of problem as the original Leibniz indiscernibility argument: Surely it is fantastic that we should consider as genuinely different alternatives which admit of no observable or theoretical repercussions beyond just the described change itself. Earlier I used the word "methodological" for this kind of problem (the methodological formulation of the indiscernibility argument). In the overnight doubling case we also have a new

problem: All the facts about masses, or anything else, describing the world up to nightfall this evening do not determine whether or not the mass doubling will take place. If such Leibniz alternatives are genuine alternatives, they show that our world is beset with a severe kind of indeterminism. The present and past facts do not determine what masses things will have at any future time. It is not that determinism itself is sacred. But, as Earman and Norton (1987) say, if determinism fails it should fail for reasons which take empirical investigation to establish, and not for this sort of trivial, a priori reason. I'll use the expression "indeterminism problem" for this new kind of difficulty. (Teller, 1991, pg. 385)⁴⁰.

A caracterização do determinismo para essas diferenças é uma caracterização dependente de uma noção epistemológica. Assim sendo, ninguém está habilitado a dizer que o Universo tem, na região específica em que atua um buraco, por razões relativas à covariância das equações, uma configuração qualquer e não outra igualmente admitida. O substantivismo tem essa implicação radical porque os “pontos” no espaço-tempo são considerados reais e, sendo assim, o indeterminismo é um indeterminismo sobre relações que a matéria tem com esses pontos. No exemplo levado a cabo por Teller, se a alternativa leibniziana for aquela em que a transformação é ativa, a mesma sorte de indeterminismo é encontrada, pois, não se trata de uma mudança meramente relativa ao uso de escalas para quantidades, mas sim uma mudança substancial sofrida nas massas e nas relações quaisquer, contanto que sejam transferíveis, como a força que esteja a atuar sobre as massas, por exemplo ⁴¹. A diferença é que o “*hole argument*” implica

⁴⁰O caso das massas duplicadas apresenta o mesmo tipo de problema que a indiscernibilidade leibniziana. É, certamente, fantástico que possamos nos referir a isso como sendo alternativas genuinamente diferentes. Alternativas que não permitem repercussão observável ou teórica, apenas uma descrição diferente. Usei, anteriormente, a expressão *metodológico* para este tipo de problema (a metodológica formulação do argumento da indiscernibilidade).

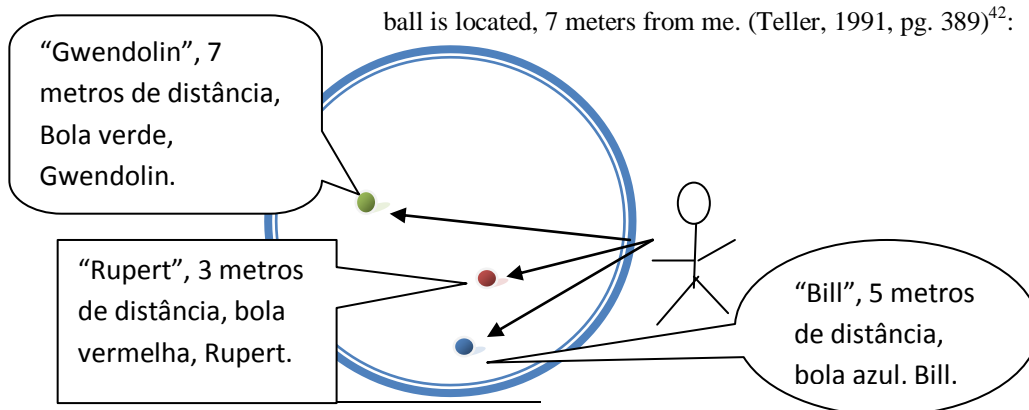
O caso da duplicação noturna apresenta um novo problema. Nada no instante anterior à duplicação, os fatos sobre as massas ou ainda qualquer outro fato, nada nos permite saber se, no instante seguinte, a duplicação aconteceu ou não. Essas alternativas são verdadeiramente alternativas leibnizianas, elas nos mostram haver, em nosso mundo, um indeterminismo severo. Os fatos presentes e passados não determinam o que será das massas em um tempo futuro. Não quero com isso significar que o determinismo, em si mesmo, é uma doutrina sacrílega. Mas, como Earman e Norton (1987) dizem, se o determinismo falha, deverá fazê-lo apenas por razões que uma empírica investigação poderá estabelecer e não por esta sorte de razão trivial, a priori. Eu estarei usando a expressão *problema do indeterminismo* para me referir a esse novo tipo de dificuldade. (tradução minha).

⁴¹É importante que sejam transferidas as mudanças nas relações importantes para a consideração do exemplo. Se isso não acontece, não há de fato alternativa leibniziana e a analogia não é funcional para a explicação do “*hole argument*”.

que, se consideramos os pontos como substâncias, então a alternativa leibniziana não é meramente uma descrição possível, mas uma mudança com um componente dimensional, consistindo esse em “outro mundo” admitido pelas equações covariantes. Ou a transformação é passiva e há uma unidade de medida alternativa para quantidades de massas, ou a mesma unidade de medida atua sobre proporções (e relações transmissíveis) com as massas.

Imaginemos um círculo representando um “buraco”, tal como esse termo tecnicamente é usado. Imaginemos posições que estão bem localizadas nesse círculo, nomeadas respectivamente “*Gwendolin*” (o nome “*Gwendolin*” se refere ao local *Gwendolin*), “*Rupert*” (“*Rupert*” para *Rupert*) e “*Bill*” (“*Bill*” para *Bill*). Essas posições (pontos no espaço-tempo) recebem objetos como bolas com cores diferentes, verde no ponto denominado “*Gwendolin*”, vermelha em “*Rupert*” e azul para “*Bill*”:

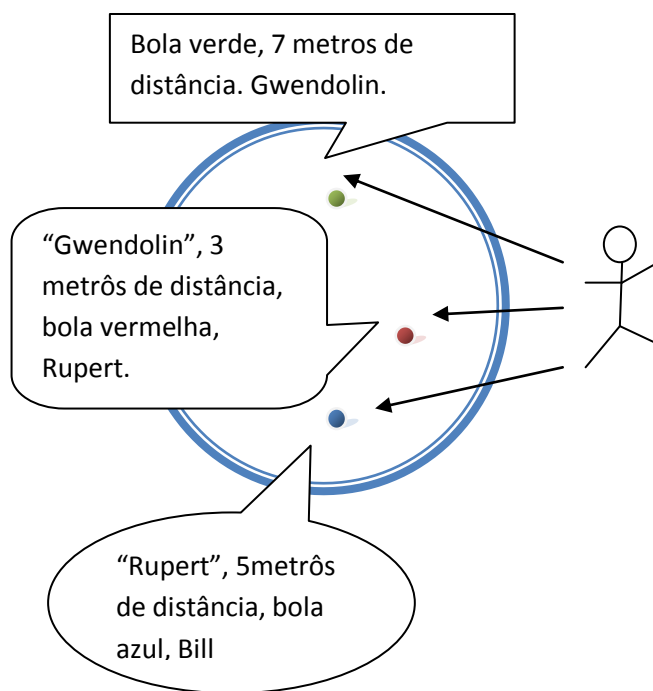
With this preamble we can easily outline the role of passive and active transformations in spelling out the hole argument. Consider a space-time hole and some space-time points, substantively conceived, within the hole. To emphasize the idea that the coordinates of these points do not have metrical significance, instead of numbers I will use ordinary names for the “coordinates” of the points. “Bill” names the point Bill, at which a blue ball is located. Bill and the blue ball are located 5 meters from me, standing out-side of the hole. “Rupert” names the point Rupert, at which a red ball is located, 3 meters from me. And “Gwendolin” names the point Gwendolin, at which a green ball is located, 7 meters from me. (Teller, 1991, pg. 389)⁴²:



⁴²Com este preâmbulo, torna-se fácil mostrar o papel da passiva e ativa transformação para o argumento do buraco. Considere um buraco no espaço tempo e muitos *pontos* substancialmente considerados, dentro do buraco. Para enfatizar a ideia de que as coordenadas nestes pontos não têm um significado métrico, em vez de números, nós podemos usar “nomes” para as *coordenadas* nestes pontos. “*Bill*” nomeia o ponto *Bill*, no qual há uma bola azul localizada. *Bill* e a bola azul localizam-se a 5 metros de distância de mim, que estou fora do buraco. O nome “*Rupert*” nomeia o lugar *Rupert*, no qual a bola vermelha está localizada a três metros de distância de mim. E “*Gwendolin*” nomeia o ponto *Gwendolin*, no qual a bola verde está localizada a 7 metros de mim. (tradução minha).

a) Condições iniciais ⁴³.

Agora, para a primeira transformação, imaginemos que a região do buraco é um tecido cujo material seja elástico. Se esticado, o tecido apresentará o tipo de mudança desejável para a explicação de Teller. Os lugares *Gwendolin*, *Rupert* e *Bill*, recebem etiquetas com nomes correspondentes à localização, como vimos acima. O ato de esticar o tecido muda a correspondência dos nomes com sua localização de origem, como atestam a localização dos nomes na figura a seguir:



Transformação Passiva.

Objetos e espaço temporais relações permanecem como em “a”, mas os nomes são transferidos.

b) Condições após mudança passiva (garantida pela covariância) de “a”

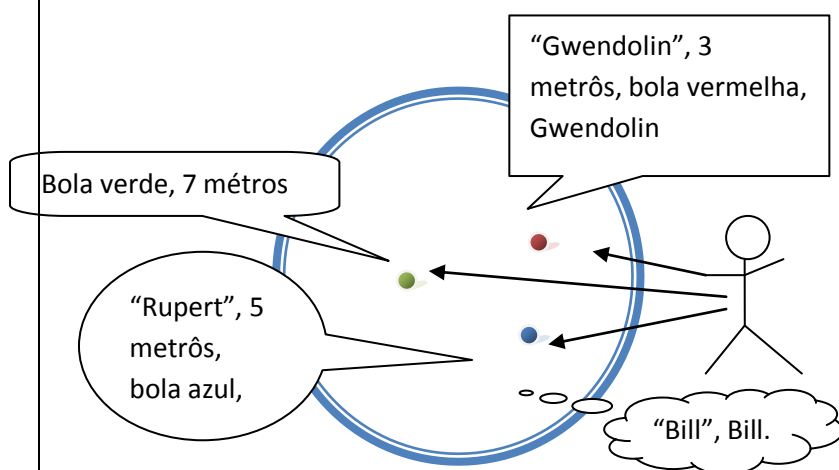
Como se pode observar, as mudanças foram significativas. A covariância garante a construção de difeomorfismos em que se muda o A pelo B, sem mudar, contudo, a descrição física do espaço-tempo, razão pela qual é possível construir mundos

⁴³ Desenhos e figuras inspirados em Teller, (1991, pg. 389 -390).

alternativos para satisfazer as equações com a redistribuição do espaço e do múltiplo de relações e objetos que nele está. No caso da figura assinalada em “b”, temos que: passam a coincidir sobre o mesmo plano o nome “*Gwendolin*”, a localidade *Rupert* e a bola vermelha. “*Rupert*” torna-se um nome de *Bill*, onde se encontra a bola azul, e “*Bill*” é nome agora de algum outro ponto qualquer:

First we consider a passive coordinate transformation. Imagine the coordinates laid out on a rubber sheet, with the names "Bill," "Rupert," and "Gwendolin" inscribed on the sheet, directly coincident with the named points. Now imagine the sheet to be stretched, but only within the hole. As a result of the stretching, "Gwendolin" comes to be coincident with Rupert and the red ball, "Rupert" becomes a name of Bill, the location of the blue ball, and "Bill" moves on to some other point. As long as the theory is framed in a covariant manner, this new description serves exactly as well as the original coordinatization. In particular, the laws all take the same form as in the original description. This is the passive transformation. (Teller, 1991, pg. 390)⁴⁴.

Vejamos como seria o desenho para uma mudança ativa:



Transformação ativa

Os nomes permanecem em suas originais localidades e as relações e objetos são modificados.

⁴⁴Primeiro vamos considerar uma passiva transformação coordenativa. Imaginem-se coordenadas dispostas sobre uma folha de borracha, com os nomes “Bill”, “Rupert” e “Gwendolin” inscritos sobre a folha e coincidentes com os pontos respectivos. Agora, imaginemos a folha sendo esticada somente dentro do buraco. Como resultado, “Gwendolin” vem agora a coincidir com Rupert e a bola vermelha, “Rupert” torna-se um nome para Bill, onde se localiza a bola azul e “Bill” se moveu a outro ponto. Como a doutrina conserva sua forma covariante, esta nova descrição serve tão bem quanto a original. Em particular, todas as leis assumem a mesma forma que assumiam na descrição original. Essa é uma transformação passiva. (tradução minha).

c) Após mudança ativa (garantida pela covariância) de “a” e “b”.

Qual a lição que Teller retira desses casos análogos? Primeiramente, o autor associa a mudança passiva a uma interpretação que não significa em si mesmo indeterminismo radical, como aquele que é proposto pelo desafio Einstein-Norton-Earman. A mudança passiva acima apresentada, para a finalidade de explicação didática desse argumento, tem o mérito de não implicar em indeterminismo. Não o implica, pois, a diferença que resulta em uma “alternativa leibniziana” é somente apresentada em termos que são relativos. No desenho acima, em “b”, há uma diferença entre a correspondência de nomes para localidades (“*Gwendolin*”) e localidades (*Gwendolin*). Na analogia das massas, trata-se de entender a mudança não como uma mudança substancial e absoluta, mas como uma mudança nas coordenadas e escalas para a medição de porções de massas, garantida, como ressalta o autor, pelo fato de que a lei de conservação de massas pode ser entendida como uma lei para a “conservação de relações de massas”. Considero a explicação de Teller bastante feliz para o entendimento do imbricado problema que é o “*hole argument*”, apresentando-o sistematicamente e com clareza quanto a suas premissas e implicações.

A princípio, uma referência ao espaço-tempo em sentido topológico pode advogar novamente o substantivismo. Mas a lição física que esse compromisso mais a covariância parecem implicar é que há, muito certamente, um inquietante elemento de indeterminação presente a essa interpretação comprometida com uma topologia substantivista:

Aqui, as estruturas do espaço-tempo que somos estimulados a adotar estão no plano topológico. Mas os absolutistas devem hesitar antes de aceitar esse argumento, pois a história do “buraco” de Einstein, como Earman e outros contam, parece implicar a queda do determinismo: não podemos mais ter certeza de como será o futuro, mesmo que saibamos tudo que há para saber sobre a história do espaço-tempo até hoje. Futuros diferentes podem ser gerados a partir de um único conjunto de informações sobre o mundo, apesar do fato de as equações usadas serem essencialmente deterministas. (Ray, 1993, pg. 199).

O indeterminismo é consistente com o princípio de razão suficiente? Não seria necessário assumir que, o princípio reclama uma razão pela qual o futuro do Universo seja x e não y, e, em tese, o conhecimento dessa razão seja suficiente para a predicação

de x ? Mas isso só se põe se tivermos um compromisso ontológico irreduzível com os pontos no espaço-tempo: “Se a menção a pontos do espaço-tempo não deve ser entendida literalmente, então não precisamos tirar quaisquer conclusão sobre a realidade física com base na manipulação desses pontos”. (Ray, 1993, pg. 199). Acredito ser isso o suficiente para incluir exigências de tipo leibnizianas neste capítulo.

III. Exigência pelo determinismo nas teorias.

Uma teoria física pode ser indeterminista: não há nenhuma restrição para teorias indeterministas, pelo menos não a priori. Porém, a relatividade geral não pode ser tratada como uma teoria indeterminista por razões não empíricas. O problema que o “*hole argument*” faz notar é que uma doutrina metafísica sobre o espaço-tempo, cuja conclusão é o indeterminismo, é inaceitável. A exigência pelo determinismo não falsifica o substantivismo, mas oferece ao relacionista uma vantagem ao preservar o caráter determinista das teorias sobre o espaço-tempo, sobretudo em se tratando da relatividade geral. Essa questão, para que seja mencionado, abre espaço a uma diversidade de hipóteses metafísicas muito importantes, que não vou explorar neste capítulo, todas elas uma tentativa de entender o que significa essa diversidade física em termos de “mundos possíveis” para equações da relatividade geral. A exigência pelo determinismo é a última que gostaria de mencionar aqui. A resposta que pretendo passa pelo cumprimento da seguinte meta: mostrar que essas exigências, direcionadas pela expectativa de cumprir com certos requisitos teóricos, não são realizadas pelas principais teorias científicas ou, pelo menos, é bastante discutível que sejam. Não se trata de negá-las plenamente, mas se porventura for mostrado corretamente que as teorias em ciência por vezes descumprem esses mesmos requisitos, por serem demasiado restritivos e limitarem o poder e o alcance das teorias, então se torna mister que o relacionista explique por qual razão é forçoso que a ontologia do espaço e do tempo deva se comportar rigorosamente de acordo com esses preceitos.

IV. Esses requisitos são cumpridos pelas teorias da relatividade?

Nos capítulos anteriores foi discutido a respeito da grande esperança que os relacionistas desenvolveram ao considerar a relatividade especial e geral. Contudo, ocupei-me de mostrar que é injustificado representar a teoria da relatividade como necessariamente realizadora de um programa relacionista. Gostaria de retomar essa argumentação e mostrar que, especialmente no que respeita as exigências que foram mencionadas, o recurso relacionista tem falhado. Isso significa que: a inércia continua a estimular a descrição absoluta do movimento; não foi efetuada uma redução tal que o papel do espaço-tempo como “*framework*” tenha se limitado a uma importância apenas instrumental; os princípios leibnizianos não são eficientes para limitar teorias e o indeterminismo não é de todo incontornável, caso o substantivismo possa corretamente ser reformulado. As exigências de tipo machiana falham porque, muito embora se possa recorrer às estrelas fixas para a construção do movimento, a teoria relativística possibilita a construção dos modelos absolutistas mencionados anteriormente nesta dissertação. Esses modelos incluem o espaço-tempo como ineliminável para a descrição dos fenômenos dinâmicos, impossibilitando também a chamada redução machiana. Assim, para demonstrar que a inércia continua a estimular um resultado à semelhança de Newton, temos que:

A relação entre matéria e geometria oferece certa esperança ao relacionista que queira reduzir o espaço-tempo a termos materiais. Mas essa relação dinâmica proporciona meramente um mecanismo possível para a redução. Podemos, todavia, necessitar de conceitos do espaço-tempo na descrição geral do movimento. A não ser que seja demonstrado que uma teoria sólida do espaço-tempo e movimento, como a TRG, possa ser expressa totalmente em termos materiais, o relacionismo parece destinado a não ser mais que uma vã esperança empírica. (Ray, 1993, pg. 189).

Exige-se que a redução reclamada pelas interdições machianas seja construída efetivamente. Mas parece que isso não foi bem realizado, pois, como já foi mostrado pelo autor, ainda que a descrição do movimento e, portanto, que a inércia de um corpo não implique a existência do espaço-tempo absoluto, ainda assim é importante chamar a

atenção para outras características da teoria para as quais o espaço-tempo é elemento irreduzível, como a alegada referência à topologia do espaço-tempo. Mas acontece que nem mesmo o movimento é decisivamente conclusivo como os relacionistas gostariam que fosse:

Já observamos que qualquer descrição do movimento no espaço-tempo de Minkowski inclui uma referência irreduzível às propriedades geométricas do espaço-tempo. Na TRR, a estrutura afim do espaço-tempo determina como qualquer partícula livre pode se mover, mas podemos não explicar a estrutura afim em termos materiais. Porém, o espaço-tempo de Minkowski é apenas um entre muitos modelos da TRG, um caso especial dentro de um contexto teórico mais geral. Logo, pelo menos um modelo da TRG parece ser absoluto em todos os sentidos em que a TRR é absoluta. (Ray, 1993, pg. 190).

Estratégias como a de Sklar, em que o movimento absoluto é atribuído à matéria, não são consideradas soluções plenamente satisfatórias. É insatisfatório, sobretudo, porque se atribui à matéria uma propriedade escusa (a propriedade de gerar efeitos inerciais “em si”) apenas para que o newtonianismo fracasse. Contra Mach já foi mencionado o quanto sua postura, aquela exigida pelo rigor empirista, é restritiva. Além disso, não parece corresponder plenamente à prática científica, como vários autores têm replicado. Outra via de ataque é mostrar que a relatividade, amiúde considerada determinista, pode esconder nos seus desenvolvimentos posteriores uma possibilidade de indeterminismo. Logo, se o indeterminismo é indesejável, não o é por razões empíricas:

As singularidades e as rupturas causais associadas às singularidades podem acabar sendo explicadas totalmente em termos das propriedades materiais dos objetos no espaço-tempo. Não significam nenhuma ameaça imediata à posição relacionista. Mas um buraco topológico representa um elemento irreduzível da estrutura do espaço-tempo, e tais buracos no espaço-tempo podem romper a causalidade tal como as singularidades físicas. (Ray, 1993, pg. 286).

Há duas coisas muito importantes na construção dessa passagem. A primeira diz respeito ao conteúdo fortemente substantivista da atribuição ontológica sobre os buracos topológicos. Seriam estruturas não passíveis de uma “operação machiana”, tal como é feito com as chamadas singularidades, segundo o autor. A outra diz respeito ao fato de

que esses buracos, hipótese plausível para explicar uma diversidade de fenômenos gravitacionais, são capazes de “romper a causalidade”. Isso significa causar um impedimento para uma descrição determinista que possibilite o sonho laplaciano da previsão e, por razões que são empíricas e não propriamente metafísicas, para explicar certos fenômenos, passíveis de atribuir indeterminismo às teorias sobre o espaço-tempo:

Earman tenta persuadir os que tendem para o absolutismo a abandonarem seu substantivalismo quanto aos pontos e a seguir a via sugerida pela noção de “movimento absoluto sem espaço absoluto”, sugerida por Sklar. A opção pode ser atraente para quem compartilha dos sonhos de Laplace. Contudo, quem está convencido de que o mundo é essencialmente indeterminista tenderá mais a continuar a usar modelos e estruturas que permitam descrever esse mundo aparentemente indeterminista do modo mais coerente possível. Se agimos assim, não é devido a algum preconceito absolutista, mas porque as evidências empíricas sugerem que o mundo seja essencialmente indeterminista. (Ray, 1993, 287).

Por fim, é legítimo se perguntar: se a relatividade especial e geral não eliminam a referência ao espaço-tempo para a descrição do movimento, como têm atestado diversos autores, e se não é a referência ao espaço-tempo tão somente instrumental, por que a ontologia sobre o espaço-tempo deveria obedecer cada uma das exigências inspiradoras de relacionismo? Tenho chamado a atenção para o fato de que são, muitas dessas exigências, se não incompatíveis com a relatividade, pelo menos incompatíveis com certas soluções cosmológicas relativísticas. Essa é a razão pela qual a teoria da relatividade, apesar do desejo e inspiração machianas de seu autor, não teve o resultado esperado em favorecer o relacionismo:

Earman não esteve só ao recomendar que o espaço absoluto, o movimento absoluto ou a aceleração absoluta não sejam descartados como um discurso metafísico vazio, ou ao criticar os argumentos lógico-positivistas formulados por Reichenbach, Grünbaum e outros, favoráveis ao relacionismo. Ideias semelhantes foram expressas por um bom número de filósofos contemporâneos, entre eles Howard Stein, Graham Nerlich, Lawrence Sklar, Hartry Field e Michel Friedman (...). Também tem ficado cada vez mais claro que o princípio de Mach, que antes se supunha necessário para corroborar o caráter relacional da rotação, não pode ser exemplificado no âmbito da

relatividade geral, de modo que essa teoria não corrobora nem se opõe ao relacionismo. (Jammer, 2010, pg. 277).

Por agora, desejo apenas a ressalva de que os critérios pelo relacionista apresentados, selecionados de diferentes orientações filosóficas, têm, quase todos, um ideal de ciência que, por restritivo que seja, é desejável. Minha ressalva se dá no fato de que mesmo a teoria da relatividade, cuidadosamente pensada como machiana por diversos autores, não consegue realizá-lo consensualmente. Se isso for entendido como pretendem os autores que tenho citado, a proposta para esse capítulo ressurgiu forte ao final: por que a ontologia do espaço e do tempo deve estar plenamente obediente a essas exigências se mesmo a melhor teoria sobre o espaço e o tempo que temos, apesar do desejo confesso de seu ator, parece ter falhado em seu poder e alcance para isso? Não se trata, então, de negar as qualidades que uma proposta afinada com o programa relacionista teria para uma teoria do espaço e tempo, mas questionar a capacidade que nossa atual melhor teoria tem para fazê-lo:

As ideias de Mach sobre a economia não passavam de um esboço de uma reflexão mais detalhada. Não chegou a reconhecer que as várias metas da economia no trabalho, forma e conteúdo podiam conduzir a direções bastante diferentes na tentativa de caracterizar o mundo. Um problema mais sério foi não ter distinguido entre ideias subjetivas e objetivas de simplicidade. Mas talvez a dificuldade mais séria tenha sido levantada por Michael Friedman, que argumentou que os “tijolos básicos”, que Mach poderia considerar extravagâncias metafísicas, podiam as vezes desempenhar um papel unificador e simplificador nas explicações gerias do mundo físico. Friedman considera que os conceitos de espaço e tempo desempenham tal papel, ajudando a conciliar a gravidade com o eletromagnetismo ao associar todos os fenômenos nesses domínios distintos à mesma estrutura de fundo. (Ray, 1993, pg. 166).

Para registrar, contudo, a esperança que o próprio Einstein tinha em realizar um programa machiano, podemos recorrer à apresentação que fez esse autor 1953⁴⁵, pouco tempo antes de sua morte. Sua posição nesta ocasião celebra a vitória leibniziana e

⁴⁵Como não se encontra disponível essa apresentação, é possível consultar a literatura que a tem mencionado para certificar-se de sua real adesão esperançosa ao relacionismo, além da já conhecida influência de Mach na sua obra. Na pg. 140, nota 94 nesta dissertação, encontra-se uma referência a ser consultada sobre isso.

huygeniana. Reconhece assim que a vitória não é completa, mas sua preferência pelo relacionismo era tal que pôde celebrá-lo na máxima que subsume o espaço ao conceito de campo, e esse último, por razões concernentes à estrutura afim do espaço-tempo da relatividade geral, em sua relação com a matéria, o que poderia a princípio suscitar grandes esperanças ao relacionista. Segundo alguns autores, Einstein entendia que o próprio conceito de matéria fôra substituído por um conceito mais amplo, o conceito de “campo”. Sua máxima pode ser assim resumida: “Não existe espaço sem campo” (Jammer, 2010, pg. 271). Como já disse, a teoria da relatividade é suficientemente rica e a cosmologia que permite demasiado ampla para dizermos que ela está por decidir uma ontologia do espaço-tempo. Se a princípio havia essa esperança, é preciso assinalar que hoje sua convicção é mais tímida, levando filósofos como Earman, cuja orientação é relacionista, a fazer coro aos absolutistas e ajudá-los a instaurar o discurso realista sobre espaço-tempo, respondendo aos argumentos lógico-empiristas de filósofos como Mach e outros como Reinchenbach.

IV. 1 Resposta à exigência machiana: o princípio de Mach;

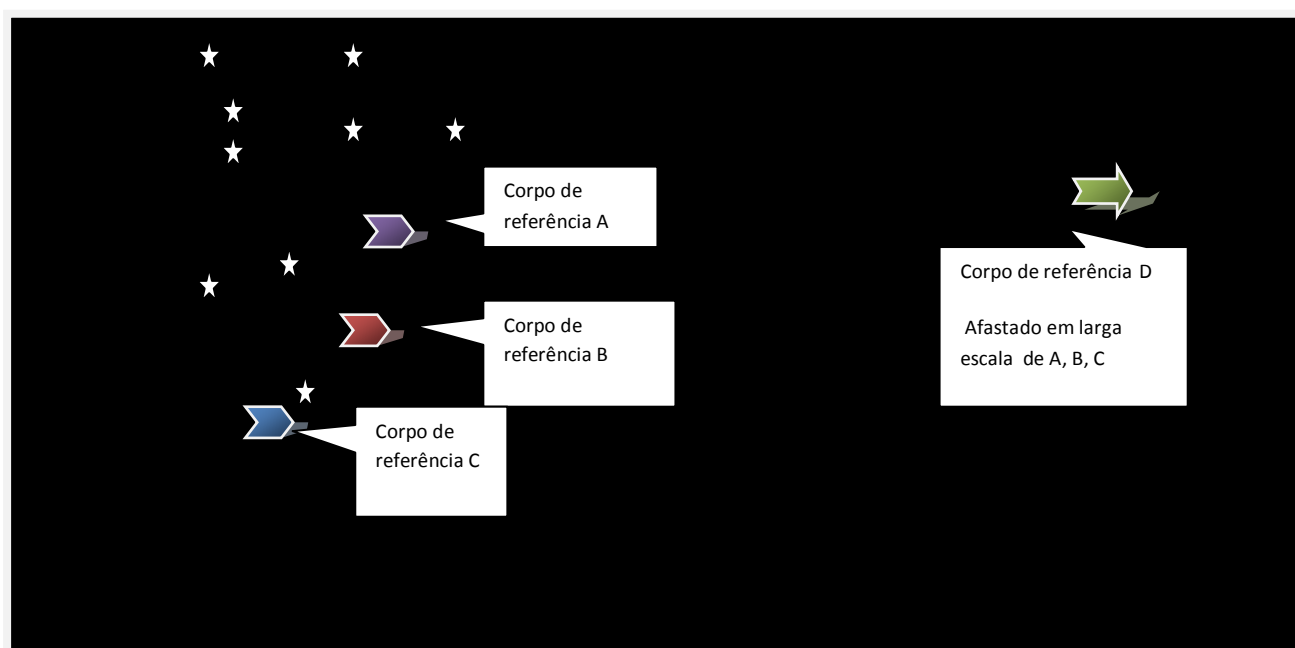
A primeira das exigências machianas é a mais significativa e a mais inspiradora das esperanças relacionistas. Einstein parecia muito convencido de que efetivamente poderia realizá-la nas soluções cosmológicas para a relatividade geral, mas foi corrigido pelo astrônomo Willen de Sitter (1872 - 1934). Desde então, a discussão a respeito desse princípio e sua problemática exemplificação no contexto da teoria da relatividade veio a ganhar forma e tornou-se um capítulo central na filosofia do espaço e do tempo. Mas o que justifica a imensa atenção que esse princípio tem recebido ao longo de tantos anos de pesquisa em história e filosofia da ciência? Trate-se de um princípio que poderia, se ficasse provada a sua capacidade de representação no contexto da teoria da relatividade, conferir ao relacionista uma vantagem exemplar. Então, foi ficando mais clara sua problemática exemplificação nesse contexto. Mas, caso ficasse provado que o princípio não é admitido em tal contexto, que significado isso teria para o relacionismo sobre espaço e tempo? É do que vou tratar agora, nesta seção.

A diversidade de autores, filósofos, físicos e historiadores a tratar desse tema é profícua. Isso me dá muitas opções. Antes de tudo, ressalto o caráter modesto disso que é um trabalho escolar, ou seja, não me comprometo com uma leitura que seja exaustiva sobre esse princípio, pois não há a possibilidade de esgotar a enorme literatura sobre isso. Apenas, devido ao caráter central dessa seção para minha estratégia argumentativa, busco apresentar suficientemente esse debate (à semelhança de Skar, Jammer, Grünbaum, Ray, Assis, dentre outros) para chamar atenção ao problema com a “Hipótese de Mach”, a qual afirma que o comportamento dinâmico-cinemático dos corpos é determinado pela distribuição da matéria no Universo. Einstein esteve a pensá-la como necessária, mas reconheceu que a comunidade científica não estava totalmente convencida disso. Em primeiro lugar, é preciso admitir que nem na mecânica newtoniana, nem na teoria da relatividade, foi possível, de imediato, o acréscimo desse princípio sem maiores especificações. A física newtoniana exigia que certas condições de contorno no infinito fossem satisfeitas e a relatividade não admitia a ação à distância. Isso gerava certos problemas a serem pensados por quem desejava a incorporação do princípio. Em um pequeno texto, intitulado “Princípios concernentes à teoria da relatividade geral” (1918), Einstein discutiu suas ideias de 1917, em particular a síntese

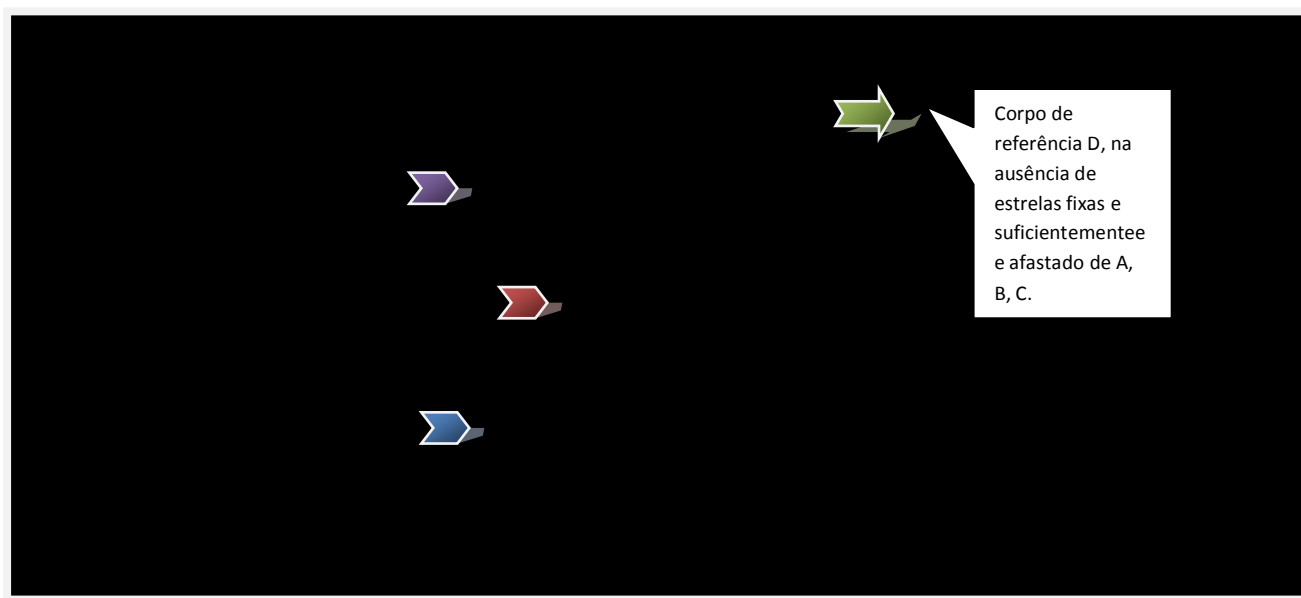
que optava por fazer entre a geometria riemanniana e o princípio de Mach. Mas Einstein sabia que suas equações originais não satisfaziam esse princípio. Então, com a finalidade de que pudessem satisfazê-lo (se associamos isso às razões empíricas que em sua época favoreciam a interpretação das equações de campo para um Universo estático e finito), introduziu nas equações uma constante com a qual esperava eliminar essa incompatibilidade. Esta só podia ser eliminada por um modelo de Universo que não precisasse de condições de contorno a ser satisfeitas, e tal modelo só tornou-se estável quando a constante cosmológica veio a ser introduzida. Mas o trabalho do astrônomo holandês mostrou que havia uma solução possível para as equações modificadas em que se admitia uma estrutura espaço-tempo, mesmo na ausência de matéria. Esse resultado serve como resposta negativa à indagação machiana, apresentada na segunda edição de seu trabalho, onde se pergunta a respeito do seguinte dilema, muito revelador da expectativa de Mach para um Universo no qual o seu princípio fosse satisfeito:

Será que um quarto ponto de massa D, deixado por conta própria e não submetido a nenhuma força, descreve uma linha reta com velocidade constante em relação ao “sistema inercial S”, tal como definido pela projeção de três outros pontos de massa “livres”, A, B, C, na ausência das estrelas fixas ou em caso de mudança em larga escala entre eles? (Mach, 1889, pg. 485).

O dilema machiano pode ser entendido nas ilustrações que vêm a seguir:



A) O desenho acima apresenta o segundo caso, em que uma mudança em larga escala não permite explicar a inércia do corpo D por referência a nenhum dos outros corpos.



Essa situação também é descrita por Mach. Nela, não há estrelas fixas, e qualquer efeito inercial entre A, B, C não diz respeito a D. A física newtoniana pôde apresentar o espaço absoluto como elemento explicativo a partir do qual os efeitos inércias em D se efetivariam, em um caso em que esses efeitos existissem.

Por que o trabalho de W. de Sitter pode ser relacionado com a indagação machiana? Porque a expectativa de Mach não se tornou nenhuma exigência da teoria, como poderemos ver em detalhes. Einstein enumerou algumas dessas expectativas, todas comprometidas com a satisfação plena do princípio, em um texto de 1922:

Que é que poderá esperar-se do desenvolvimento do pensamento de Mach? 1. ° A inércia de um corpo deve aumentar se se acumulam na sua vizinhança massas ponderáveis. 2. ° Um corpo deve sofrer uma força aceleradora quando massas vizinhas são aceleradas; a força deve ser do mesmo sentido que a aceleração. 3. ° Um corpo em movimento de rotação deve produzir no seu interior um “campo de Coriolis” que faz com que corpos em movimento sejam desviados

no sentido da rotação; deve ainda produzir um campo de forças centrífugas radial. (Einstein, 1922,1958, pg. 123).

É-nos bastante claro que a sua teoria da gravitação, se interessada em cumprir com o relacionismo, deveria ser capaz de ser um exemplar machiano. Se sua adesão é necessária, então aquelas coisas que são expectativas machianas não podem ser deixadas sem exemplificação, pois estão aqui implicadas. Somam-se a essas três consequências machianas uma quarta, também aceita por Einstein como imprescindível: “um corpo num Universo vazio não deve exibir inércia”. Por exemplo, a questão machiana exige como resposta que o corpo exemplificado em D, por razões relativas às condições de contorno, não seja capaz de exibir inércia (a inércia desse corpo no infinito tende a zero). Na situação “a”, segundo a física newtoniana, o corpo D, infinitamente afastado, exibiria, em relação às estrelas fixas ou em relação aos corpos A, B, C, um potencial zero de atração gravitacional, e o potencial gravitacional é o único relevante. Ou seja, para a consideração da inércia de D, A, B e C são desprezíveis. Se Mach estiver correto, nenhum efeito pode ser percebido, pois, em tais circunstâncias, não há relação explicativa possível entre as partes que poderiam caracterizar o seu relacionismo. Se o corpo de referência D fosse verificado exibindo inércia, a sua doutrina relacional encontrar-se-ia em dificuldades muito sérias. Como consequência de semelhante compromisso ontológico com forças relacionais e somente forças relacionais, a expectativa consequente com uma doutrina machiana seria aquela em que não houvesse inércia naquele corpo. Para o leibniziano, contudo, a inércia possível seria um indicativo de que há movimento absoluto, sem qualquer espaço absoluto. Neste ponto, assim como a Einstein, parece-me equivocado não ser consequente com o princípio, e seria necessário o abandono do princípio na ausência de todas as implicativas que esteve a reconhecer. Como os filósofos e o próprio Einstein sabiam do quão problemático era exemplificar todas as implicações que uma teoria machiana devia ter, no contexto da relatividade geral, essa questão começou a ganhar contornos próprios e o resultado foi que obteve uma atenção muito particular, não somente para filósofos, mas também para a cosmologia contemporânea. Hoje duas escolas são conhecidas por pensar o princípio de Mach e a relatividade geral. A escola de Princeton, liderada por Dicke ⁴⁶, feitas algumas modificações no tratamento que é dado à gravidade em termos de um “campo de tensor escala” em um espaço de Riemann, torna a teoria consistente com esse

⁴⁶Dicke. R.H. 1962

princípio. A escola de Freiburg, cujo principal nome é Hönl ⁴⁷, trata o princípio de Mach como um critério para a eleição de modelos cosmológicos. Como somente para modelos finitos, como o “chamado Universo estático de Einstein”, o princípio de Mach pode ser satisfeito, porque nesses modelos o valor da métrica não precisa ser dado no infinito, essa escola vê na aceitação do princípio uma razão pela qual se deva selecionar esses modelos como dotados de algum privilégio, mas trata-se antes de uma questão de preferência para quem aceita o princípio, e não exatamente de um privilégio empírico que esses modelos teriam sobre outros que não o satisfizessem. Einstein considerou a inércia em termos relativos em 1917 ⁴⁸ e, com isso, se somadas todas as provas textuais disponíveis, a hipótese machiana e sua importância para a teoria da relatividade implicam na total inexistência de inércia, em um Universo sem matéria, o que Einstein certamente teria de aceitar e. Sobre essas implicações, uma diversidade de autores é competente para mostrar que elas não acontecem. Segundo Brans (1962) ⁴⁹, Einstein equivocou-se com a primeira dessas exigências, engano esse causado por um erro na interpretação de cálculo, em um sistema de coordenadas particular. A segunda consequência é exemplificada na teoria da relatividade, mas sua interpretação é variável, como sobre isso se pronuncia Reinhardt, 1973 ⁵⁰. A terceira consequência lógica do princípio foi obtida, no contexto da teoria da relatividade, por Thirring (1888-1976) em 1918-1921 ⁵¹. A diversidade de autores é, como vim a dizer, profícua, tanto para uma análise mais técnica da teoria da relatividade como a um trabalho propriamente filosófico, como este. Os trabalhos filosóficos recuperam o absolutismo sobre espaço e tempo, mostrando que Einstein, muito apesar do machianismo confesso, mantém o espaço absoluto newtoniano. Esse, evidentemente, não pode ser o caso e, como se veio a perceber, ou esse princípio era aprovado e a relatividade abandonava os conceitos absolutos de espaço e tempo, ou, contrariamente, abandonava-se o princípio, restando a questão pela possibilidade de um relacionismo para a teoria da relatividade

⁴⁷Hönl. H. Dehnen. H. 1967, pg. 492-502.

⁴⁸Ver. *Considerações cosmológicas sobre a relatividade geral*, pg. 225 -241.

⁴⁹Ver. Brans, C, H. *Mach's principle and a relativistic theory of gravitation. II*.

⁵⁰ M. Reinhardt, *Mach's principle — A critical review* 1973.

⁵¹ Ver. Thirring, H. *Über die wirkung rotierender ferner massen in der Einsteinschen gravitationstheorie*, 1918; H. Thirring, *Berichtigung zu meiner arbeit: “Über die wirkung rotierender ferner massen in der Einsteinschen gravitationstheorie*, 1921.

que não seja machiano. O relacionismo leibniziano traz essa esperança, pois, como disse acima, Leibniz (à parte a questão pelo quanto é consistente manter conceitos absolutos em uma ontologia ausente de espaço e tempo absolutos) não precisaria se comprometer com as consequências todas que aqui foram apresentadas, pois aceitava a existência de movimento absoluto e forças absolutas. A dificuldade com o relacionismo de tipo leibniziano diz respeito à redução possível que se tem de fazer, pois a inércia, se não for feita redução machiana e nem se aceitar o espaço newtoniano (ou alguma versão do substantivismo), é um resultado um tanto quanto misterioso, algo como “um fato bruto na natureza”. Mas, como notou Assis ⁵², há algumas semelhanças entre o relacionismo de ambos os autores:

Vale a pena observar aqui que Einstein chegou na terceira consequência (que uma casca girando deve gerar forças centrífugas em corpos que estão em seu interior) influenciado pelas idéias de Mach. Como vimos anteriormente na Seção 5.1, Clarke concluiu que as ideias de Leibniz levavam exatamente ao mesmo efeito, mas de trás para a frente. Isto é, se aniquilarmos o conjunto de estrelas (cascas esféricas) que giram ao redor da Terra e do Sol, as forças centrífugas têm de desaparecer (a Terra não seria mais achatada nos pólos etc.). Isto mostra quão similares são as idéias de Leibniz e de Mach. (Assis, 1999, pg. 183).

Finalmente, para completar a dificuldade com as exigências de tipo machianas, cumpre notar que a quarta implicação, apontada por Einstein no texto de 1917, também não está bem exemplificada. O conceito de massa inercial, na teoria da relatividade, tem as mesmas implicações que eram notadas na doutrina de Newton. Isso significa que, nos desenhos apresentados à página 87-88, a situação na teoria da relatividade não é cumpridora das expectativas machianas. Einstein esteve o tempo todo ciente dessas dificuldades, e após o fracasso das tentativas de compatibilizar a relatividade e o princípio de Mach, abandonou-o, muito apesar de seu desejo manifesto de início. Já em 1918, esteve a abandonar, um a um, os detalhes machianos, sendo que primeiramente desistiu da quarta implicação e, por último, desistiu de sua pretensão de incorporá-lo (HOEFER, 1995, pg. 76). A história das tentativas de reforma até o abandono desse princípio é conhecida dos estudiosos. Eis um relato sobre como isso foi se sucedendo:

⁵²Esta seção é especialmente baseada no trabalho de Assis.

O que ocorreu foi o seguinte. As primeiras soluções obtidas para sua equação de campo gravitacional (como a de Schwarzschild) supunham como condição de contorno que a métrica no infinito era “minkowskiana”, ou seja, idêntica à da relatividade restrita. Isso ia contra o princípio de Mach, pois (i) a métrica local não seria determinada apenas pela distribuição de matéria, mas também por uma condição de contorno, e (ii) se o Universo fosse vazio, sua métrica seria toda minkowskiana, mas com isso ter-se-ia um espaço absoluto no qual um corpo de prova teria inércia (mesmo na ausência de outras massas). Para manter o princípio de Mach, Einstein propôs em 1917 o seu famoso modelo cosmológico no qual o Universo é fechado (como a superfície de uma esfera), de forma que não há contorno: a métrica (que descreve as propriedades inerciais dos corpos) seria determinada apenas pela distribuição de matéria, e não por condições de contorno. No entanto, para conseguir um universo fechado estático (a expansão do Universo não era ainda conhecida), Einstein teve que modificar suas equações, introduzindo uma constante cosmológica. Concluiu assim ter conseguido implementar o princípio de Mach. No entanto, ainda em 1917 o astrônomo holandês Willem de Sitter mostrou que as equações modificadas admitiam uma solução para um Universo *vazio*, que correspondia a um Universo em expansão! Após passar um ano tentando mostrar que a solução de De Sitter era fisicamente inaceitável (devido a alguma singularidade), Einstein abandonou suas tentativas de implementar rigorosamente o princípio de Mach. (SCIAMA, 1953; REINHARDT, 1973, p. 531; PAIS, 1982, seq. 15e; HOEFER, 1995).

Em 1922, quando Einstein listou as três conseqüências citadas acima, ele ainda mantinha uma simpatia pelo princípio de Mach, apesar de a teoria da relatividade geral não ser perfeitamente machiana. Após a sua morte, porém, BRANS (1962) mostrou claramente que a primeira conseqüência não aparece na relatividade geral, tendo Einstein interpretado erroneamente um cálculo efetuado em um sistema de coordenadas especial. Ou seja, assim como acontecia com a lei de Newton da gravitação, também na relatividade geral um conjunto de cascas esféricas em repouso em relação a um certo referencial S não exerce influência resultante nenhuma sobre um corpo em seu interior, não importando o movimento ou localização deste corpo de prova em relação a S . As propriedades inerciais deste corpo não dependeriam da

massa da distribuição esfericamente simétrica das estrelas fixas.
(Assis & Pessoa, 2001, pg. 137).

O texto acima mostra o desenvolvimento das idéias de Einstein, sua inspiração machiana tão bem confessa e a impossibilidade de compatibilização entre a relatividade geral e o princípio de Mach. Contudo, a *hipótese de Mach* continua a ser pensada, pois, como já dissemos, ela contém em si, para a satisfação do princípio, um elemento poderoso e decisivo. Mas hoje é consensual, entre os estudiosos do tema, o seu forte resultado negativo no contexto da relatividade, muito apesar de Einstein tê-lo considerado “*als unbdingt notwendig*”⁵³. A principal das objeções relativas a esse tópico diz respeito às chamadas condições de contorno no infinito. Tais condições são válidas para um Universo infinito, mas no Universo que o próprio Einstein concebeu essa dificuldade não é relevante. O chamado Universo estático de Einstein tentava responder a essa incompatibilidade eliminando a exigência pelo contorno no infinito. A ferramenta básica para isso foi (bem como para toda a teoria da relatividade geral) a geometria riemanniana⁵⁴, a qual permitiu a construção de um Universo finito, onde já não havia a necessidade de estabelecer qual é a métrica no infinito (por exemplo, a questão de saber se a métrica no infinito é minkowskiana, como na relatividade especial). Einstein, para a estabilidade completa desse Universo, foi obrigado a incorrer em uma modificação das equações, introduzindo a constante cosmológica. Contudo, não há nenhuma razão a priori que nos obrigue a não lidar com essas condições, muito principalmente porque (a) não está excluída a hipótese de que nosso Universo seja infinito (b) Há soluções cosmológicas para equações de campo segundo as quais o espaço tem de ser admitido em expansão (o desvio para o vermelho “*redshift*” estava ainda em vias de ser descoberto) e, além disso, vazio⁵⁵. Sobre as condições de contorno, Grünbaum as iguala com o espaço newtoniano:

⁵³ Absolutamente necessário.

⁵⁴ A geometria elaborada por Riemann tinha o seguinte resultado: se o espaço é curvo, só pode ser finito, desde que sua curvatura seja positiva. Essa era a importância que Einstein via nessa geometria. Se o espaço-tempo da relatividade geral fosse riemanniano, então a incompatibilidade entre o princípio de Mach e a sua teoria dissolver-se-ia por razões relativas à finitude do espaço, sem a exigência de um contorno.

⁵⁵ Nesta situação o princípio de Mach é duplamente violado, pela expansão e pela admissão de Universo vazio.

The boundary conditions at infinity then assume the role of Newton's absolute space, since it is not the influence of matter that determines what co-ordinate systems at infinity are the Galilean ones of special relativity; and (b) instead of being the source of the total structure of space-time, matter then merely modifies the latter's otherwise autonomously flat structure. (Günbaum, 1957, pg. 527-528)⁵⁶.

As condições de contorno no infinito descrevem, mais especificamente, a métrica do campo no infinito, em um Universo aberto. Para um esclarecimento mais técnico, cumpre entender que o potencial gravitacional de um planeta no infinito é zero. Isso vale igualmente para o potencial de repulsão de um corpo eletricamente carregado. O valor do potencial gravitacional é: r tendendo a zero tende para menos-infinito (pois é um potencial atrativo), e para r tendendo ao infinito, sua tendência é igualmente zero. Para uma superfície esférica, uma mudança significativa é ocorrida, pois em tal superfície as condições de contorno são cíclicas e o valor para um ângulo de longitude zero deve ser igual ao do ângulo 2π . Mas, em um caso bastante particular, o valor da métrica não vai tender a zero no infinito, pois ela não desaparece como seria esperado para um valor zero. É ainda muito importante ressaltar que é assim para o espaço vazio minkowskiano, da relatividade restrita, o qual é aberto. Se o Universo é fechado, utilizam-se as condições cíclicas e não é preciso assinalar condições de contorno no infinito, pois o Universo em questão é finito. Disso segue-se o seguinte: não se pode exemplificar totalmente o princípio de Mach na teoria da relatividade, pelo menos não consensualmente. Recuperando o que é mais importante, dentre os argumentos apresentados, segue-se que: a) um forte compromisso machiano haveria de satisfazer certos contextos que Einstein reconheceu, mas, como a literatura sobre isso tem mostrado com muita competência, algumas dessas condições não se mostraram concordantes com a teoria; b) uma partícula de teste não tem a sua inércia exclusivamente determinada pelo conteúdo material no Universo, mas seu comportamento é também resultado do cumprimento de certas condições de contorno no infinito; c) mesmos as equações modificadas parecem admitir a existência de um Universo vazio, sem matéria; mas, não por isso, sem espaço-tempo. Por essas razões é

⁵⁶As condições de contorno no infinito assumem o papel de um espaço absoluto newtoniano, pois não é a distribuição da matéria que determina quais sistemas de coordenadas no infinito serão os sistemas galileanos da relatividade especial e, (b) ao invés de ser a responsável pela a estrutura do espaço-tempo, a matéria apenas modifica essa estrutura, a qual seria, de outro modo, plana. (tradução minha).

bastante consensual dizer que o espaço e tempo absolutos são mantidos na teoria da relatividade e, assim, se pode concluir o seguinte, muito satisfatoriamente, para a realização plena dessa seção:

Tudo isto mostra que mesmo na teoria da relatividade geral de Einstein os conceitos de espaço absoluto ou de sistemas de referência inerciais preferenciais desvinculados da matéria distante ainda estão presentes, o mesmo ocorrendo com a inércia ou com as massas inerciais. (Assis, 1999, pg. 185).

IV. 2 Resposta à exigência machiana: a redução machiana;

Apresentei anteriormente a redução machiana como uma exigência para qualquer discurso sobre o espaço-tempo, desde que se aceite o relacionismo. A redução machiana admite o espaço e o tempo como elementos relacionais, e deseja que o papel desses conceitos seja instrumental, ou, melhor dizendo, não aceita compromisso ontológico com essas entidades, embora aceite uma referência instrumental a esses construtos. O problema é que a redução depende, evidentemente, de todos os resultados relacionistas que foram apenas sugeridos pela ontologia relacional. Assim, a redução só estaria completada quando pudéssemos eliminar qualquer referência não instrumental ao espaço-tempo. Mas, o resultado da seção anterior é suficiente para mostrar que isso não se dá assim de forma tão simples, tendo essa questão um histórico de problemas que põe em xeque a validade do Princípio de Mach. Com efeito, embora o objetivo da ontologia relacional seja uma redução do espaço-tempo a relações entre partes do Universo, o objetivo do que chamei redução machiana é, mas especificamente, a redução dos efeitos observáveis e relativos ao movimento dos corpos a uma interação entre partes. Qualquer referência a coordenadas espaço-tempo não é, para quem deseja a redução, a aceitação tácita de nenhuma espécie de compromisso ontológico com entidades inobserváveis, mas um recurso para o tratamento discursivo da teoria, cujo papel é “didático”, “instrumental”, sobretudo para quem aceita o tratamento unificador que espaço e tempo possibilitam (como em Friedman), porém, sem que haja, apesar disso, qualquer compromisso ontológico com entidades inobserváveis. Falamos em coordenadas espaço-tempo para nos referir a certas relações materiais e os efeitos das mesmas, não para um compromisso forte com algo de substantivo. Isso tudo, apesar de elegante enquanto proposta de solução, supõe a possibilidade da redução, mas não é a sua realização efetiva. A razão principal para a minha afirmação reside no fato de que uma redução de tudo o que é importante para descrever o movimento dos corpos (inércia, coordenadas espaço-tempo, corpos de referência etc.) depende, principalmente, do princípio de Mach e do cumprimento de expectativas machianas. Uma mecânica relacional pode fundamentar-se assim, mas a teoria da relatividade não parece poder fazê-lo. Como a redução exige que o princípio seja incorporado, e é consensual entre os autores que a teoria da relatividade não o faz, pelo menos não exemplarmente, tampouco pode haver redução machiana no contexto da teoria da relatividade.

IV. 3 Resposta à exigência pela observabilidade;

Essa exigência faz, talvez, o retrato mais fidedigno da relação entre relacionismo e empirismo, como pretendi mostrar em momentos pontuais dessa dissertação. Na seção III. 3, pg. 67, pretendi compreender essa exigência como uma abordagem que se valia da possibilidade de observar relações, tornando o relacionismo satisfatório quando comparado ao seu rival metafísico e abstrato. Mas, é preciso por ao relacionista a seguinte questão, para o enfrentamento dessa exigência em particular: existe alguma relação de tal forma originária que, sem ela, não pode haver tempo? A candidata histórica a relação suficientemente originária é ainda aquela que estava em Aristóteles, a qual por muito tempo pareceu insuspeita na história da filosofia. Trata-se de relacionar o tempo e o movimento dos corpos, de maneira que um intervalo de tempo só possa existir, se e somente se, uma mudança qualquer puder enunciá-lo. Assim, segundo uma determinada interpretação da física de Aristóteles, “o número do movimento segundo o antes e o depois” (Aristóteles, 1983, pg. 148-53) nos compromete com uma intuição relacional: sem mudança não há tempo! Gostaria de apresentar, nesta seção, uma série de argumentos contra essa concepção, os quais serão basicamente os seguintes: a) a tese apresentada por Aristóteles pode ser melhor entendida como epistemológica: diz respeito, sobretudo, à impossibilidade de medir instantes de tempo sem a percepção de qualquer mudança; b) o argumento parece ser devedor de que a mudança seja um dado objetivo, mas, como os desenvolvimentos posteriores à teoria da relatividade vieram mostrar, talvez a descrição da realidade que melhor se adapta à física praticada atualmente não inclua mudança ou transformação no sentido exposto pela tese relacional. A hipótese do “*Block Universe*” eternalista, a qual está ancorada em trabalhos como o de Rietdijk (1966) e Putnam (1967), faz o sentido dessa compreensão, e são realizadoras de requisitos para uma filosofia à Parmênides, sem mudança, sem uma sucessão de “agoras” para a representação do Universo, mas sim planos de simultaneidade para observadores. Segundo essa hipótese, a mudança ou transformação nos corpos é antes um resultado psicológico do que um dado efetivo sobre o mundo. Essa teoria goza da atenção de nomes tal como Kurt Gödel, que veremos logo mais; c) de um ponto de vista lógico ou conceitual também é questionável que haja a possibilidade de fazer o tempo depender da mudança em si mesmo. Autores que seguem essa crítica são, na antiguidade, Agostinho em suas *Confissões* e, mais recentemente, em uma imaginativa e inteligente experiência de pensamento, Shoemaker, em um texto publicado em 1969; d)

A união do espaço e do tempo no espaço-tempo, perpetrada por Minkowski em 1908 e pela teoria da relatividade. Alguns filósofos chamam a essa união de tese da similaridade ⁵⁷. Outros, de tradição filosófica diferente, chamam a isso “espacialização do tempo”. Exemplos dessa posição são Henri Bergson (1859-1941) e Milič.Čapek (1909-1997). Divergências à parte, a tese da similaridade sustenta que tempo e espaço são similares e, aquilo que se pode predicar ao tempo deve também poder ser predicado do espaço. Essas questões merecem uma consideração mais próxima, nas subseções organizadas a seguir.

⁵⁷Ver. Rea, 1998, pg. 225-270

IV. 3i Sobre a diferenciação entre o domínio metafísico e epistemológico;

Uma tese epistemológica não deve ser confundida com uma tese metafísica. O primeiro desses domínios diz respeito ao que sabemos e as condições a partir das quais se pode conhecer alguma coisa. Já o segundo domínio, chamado metafísico, diz respeito às coisas como elas verdadeiramente são. A tese, segundo a interpretação que foi apenas esboçada acima, está comprometida com a ideia de que por razões concernentes à forma como sabemos de um intervalo de tempo, tais intervalos não poderiam existir quando os não contamos a partir de alguma mudança que esteja a atuar como um “relógio”. Mas, acontece que, segundo essa tese, a passagem daquela condição que é manifesta como suficiente para saber de um intervalo de tempo, para um domínio metafísico, não se justifica a priori, nem tampouco pode ser dita necessária (por razões lógicas exploradas por Shoemaker, por exemplo). Assim, o máximo que se consegue com a física de Aristóteles, para a relação ente tempo e mudança, é sugerir uma razão suficiente para o reconhecimento de um intervalo de tempo. Ainda assim é problemático que essa mesma razão possa atuar como condição “*sine qua non*” nesse caso, como sobre isso questiona o trabalho de Shoemaker.

IV. 3ii Contra a hipótese de que a mudança é um dado objetivo;

É preciso que a mudança seja um dado objetivo para que haja a possibilidade de correlacionar tempo e mudança. A teoria da relatividade suscita uma subversão de expectativas e, segundo Gödel, coincidentes com o idealismo e sem a admissão de objetos e eventos a mudarem em uma sucessão temporal ⁵⁸:

Se levamos as consequências desta situação peculiar adiante, chegamos a conclusões acerca da essência do tempo que são realmente muito profundas. Colocando de maneira sucinta, é como se obtivéssemos uma prova inequívoca do ponto de vista daqueles filósofos que, do mesmo modo que Parmênides, Kant e os idealistas modernos, negam a objetividade da mudança e a encaram como uma ilusão ou um fenômeno fruto de nosso modo especial de percepção. A argumentação é a seguinte: mudanças só são possíveis com o passar do tempo. A existência de um lapso temporal objetivo, porém, significa (ou pelo menos é equivalente ao fato) que a realidade consiste em uma quantidade infinita de “agoras” que passam a existir consecutivamente. Porém, se a simultaneidade no sentido acima é algo relativo, a realidade não pode ser dividida em tais camadas de maneira objetivamente determinada. Cada observador tem a sua própria sequência de “agoras” e nenhum destes sistemas pode reclamar para si a prerrogativa de ser uma representação do fluxo temporal objetivo. (Gödel, 1949, 2006, pg. 521-524).

Embora Gödel não tenha mencionado efetivamente o eternalismo, ele está a ser eternalista e antecipa Rietdijk, Putnam e Penrose ⁵⁹ nessa questão. Mesmo esses autores não atribuíram esse significado à teoria da relatividade e sua simultaneidade relativa. Em seus escritos, deram a conhecer um argumento pró-determinismo. Mas a literatura

⁵⁸Diz nos Gödel sobre uma possível relação interpretativa entre teoria da relatividade e filosofia idealista: Kant, em sua obra *Crítica da Razão Pura (...)*, escreve sua posição nos seguintes termos: “se porém eu próprio ou outro ente pudesse me perceber sem esta condição de sensibilidade, então estas próprias designações que atualmente imagináramos como sendo mudanças nos proporcionariam um conhecimento no qual a representação do tempo, e com ela toda mudança, não surgiria”. Está formulação concorda de tal modo bem com a situação vigente na teoria da relatividade, que um se sente tentado a acrescentar: por exemplo, a percepção de uma inclinação das linhas de mundo da matéria em relação umas às outras no espaço de Minkowski. (Gödel, 1949, 2006, pg. 521-524).

⁵⁹ Ver, por exemplo, *Andromeda Paradox*, em Penrose 1989.

sobre esse argumento, baseado na relatividade, procura unir-se ao quadridimensionalismo
⁶⁰ filosófico com a finalidade de realizar o eternalismo:

In the philosophy of time, this major question has captivated philosophers for decades now. This problem stems from two competing notions of time. The first, originally suggested by Heraclitus, is called presentism ... However, with the advent of relativity, a different stance, whose primary ancient proponent was Parmenides of Elea, provided a viable alternative to Heraclitean presentism. This new stance, eternalism, was translated into the language of relativity by Hermann Minkowski in 1908 to suggest that time and space should be united in a single, four-dimensional manifold. Thus arose the notion of a 4D “block universe” (BU) in which the past, present, and future are all equally real. This view is called eternalism, and two arguments by Putnam [16] and Rietdijk [17] allegedly show that special relativity (SR) with its relativity of simultaneity (RoS) implies that only the BU perspective is correct. (Silberstein & Peterson, 2010, pg. 210)⁶¹.

⁶⁰O quadridimensionalismo, como me refiro a ele, é a tese de que objetos são distendidos espaço-temporalmente, e não apenas espacialmente. O quadridimensionalismo não coincide com o eternalismo, mas o eternalismo é plenamente compatível a ele. O eternalismo e o quadridimensionalismo estão, apesar disso, implicados no argumento de Rietdijk, pois, nesse caso, segundo muitos filósofos, os objetos e eventos podem ser localizados em um grande bloco do Universo (BU), e suas partes temporais são todas reais e existentes, sem privilégio ontológico de nenhuma espécie. O eternalismo é uma das opções dentre os adeptos do quadridimensionalismo. Assim, muitas diferentes formas de quadridimensionalismo estão reconhecidas na literatura. Há defensores de que objetos só possuem partes temporais que são passado e presente (Growing Block Model), estando o futuro, para esses objetos, em aberto. O importante é ressaltar que o presentismo (a tese de que só o presente é real) não é consistente com o quadridimensionalismo, sendo necessário para tal que os objetos não estejam distendidos em uma quarta dimensão temporal. A vantagem reconhecida do eternalismo, nesse caso, é sua implicação pelo quadridimensionalismo, o qual está bem exemplificado no contexto do espaço-tempo de Minkowski. Sobre isso, para detalhes mais enriquecidos, ver Theodore, S. *Fourdimensionalism* 2001; Mark, H. *Varieties of Four Dimensionalism*, 1993.

⁶¹Em filosofia do tempo, uma questão importante tem cativado filósofos por décadas. É um problema surgido de duas noções de tempo que estão a competir. A primeira, originalmente sugerida por Heráclito, é chamada presentismo... No entanto, com o advento da teoria da relatividade, uma doutrina antiga, inspirada em Parmênides de Eléia, tem providenciado uma alternativa ao heraclitiano presentismo. Essa novidade, o eternalismo, foi trazida para o interior da linguagem da relatividade por Hermann Minkowski em 1908, ao sugerir que o espaço e o tempo pudessem ser unidos em uma variedade quadridimensional. Assim, é surgida a noção de Universo em bloco (“*Block Universe*” BU), a qual mantém em igualdade de *status* o passado, presente e futuro, como ambos igualmente reais. É essa visão que chamamos eternalismo, e dois argumentos, por Putnam (1967) e Rietdijk (1966), alegadamente, mostram que a relatividade especial (SR) e a sua exigência pela relatividade da simultaneidade (RoS) tem como implicação a perspectiva dada em um BU como sendo a alternativa correta. (tradução minha).

Como se vê, muito apesar de ser empenhado por esses autores para um versão pró-determinismo, a literatura filosófica entende esse argumento como eternalista. Por instaurar planos de simultaneidade e eventos distendidos espaço-temporalmente, o argumento é bom para quem deseja a formulação de uma teoria à maneira de Parmênides, que vem se unir à relatividade da simultaneidade para que tenha consistência científico-filosófica. No original de 1966, Rietdijk faz a assunção de eternalismo de modo indireto, especialmente nessa passagem:

To be completely rigorous, we have to take into account the fact that, strictly speaking, an event is not a point in the four-dimensional continuum, but has a certain temporal (and spatial) extension. (Rietdijk, 1966, pg. 341-342)⁶².

Embora o autor esteja se referindo explicitamente a eventos, não pode haver quadrimensionalismo quanto a eventos sem que objetos também estejam incluídos, e a forma de quadrimensionalismo importante neste caso é aquela que se acomoda à relatividade da simultaneidade, ou seja, o eternalismo, tal como Gödel já o havia esboçado. Ora, se não há tais camadas de “agora” na descrição do Universo, e se Gödel e outros estão corretos na descrição do mesmo como um “*Block Universe*”, então não faz sentido dizer ser o tempo, em si mesmo, dependente de mudança ou transformação para existir, somente faz sentido pensar em uma mudança psicológica a partir da qual possamos ter uma sensação interna de que um intervalo de tempo foi passado. Tal intervalo, contudo, não é relevante para a discussão sobre a ontologia do espaço-tempo, razão pela qual a relação suficientemente originária não é essa.

⁶²Para ser completamente rigoroso, é preciso considerar que, em sentido estrito, um evento não é um ponto no contínuo quadridimensional, mas tem certa extensão temporal (e espacial).

IV. 3iii É logicamente ou conceitualmente impossível que haja tempo sem mudança?

Após as considerações acima, cumpre verificar se é lógica ou conceitualmente possível que haja tempo sem mudança. De um ponto de vista estritamente físico, isso é perfeitamente possível, uma vez que a descrição física do mundo não exige reconhecer a mudança como um dado objetivo em uma sucessão objetiva de “tempos”. Mas a questão lógica merece outra consideração. Na antiguidade, por exemplo, encontramos nas *Confissões* um relato valioso e preliminar sobre o quanto a perspectiva relacionista, inspirada em Aristóteles, suscitava questões e polêmicas. Não vou me estender nesse relato, apenas mostrarei, suficientemente, que a correlação entre tempo e mudança não é tal e qual como se pensava inicialmente, nem mesmo de uma perspectiva lógica. Agostinho percebeu que o tempo não podia se reduzir à mudança. Segundo a impressão de sua filosofia, qualquer mudança supõe um intervalo de tempo para que seja “medida”, tornando qualquer redução neste sentido algo circular:

Meu desejo é conhecer o valor e a natureza do tempo, com o qual medimos o movimento dos corpos, e dizemos, por exemplo, que um movimento é, quanto ao tempo, duas vezes mais longo que o outro. (Agostinho, *Confissões*, Livro XI pg. 326).

...

Desejas que eu concorde com quem diz que o tempo é o movimento dos corpos? É claro que não concordo. De fato, os corpos só se podem mover no tempo, eu sei e tu o afirmas. No entanto, não creio que o próprio movimento dos corpos seja o tempo, isso não o dizes. (Agostinho, *Confissões*, Livro XI pg. 327).

A oposição a essa correlação, mais recentemente, tornou-se tópico para um texto de 1969, em que uma experiência de pensamento veio caracterizar o tipo de reflexão lógico-conceitual que desejo nesta seção: “But what is in question here is not whether it is physically possible for there to be time without change but whether this is logically or conceptually possible”. (Shoemaker, 1969, pg. 366)⁶³. Segundo a sua lição, não há razão para fazer dessa correlação uma necessidade lógica. Assim, o substantivista pode se valer disso para

⁶³Mas o que está em questão aqui não é se é fisicamente possível que haja tempo sem mudança, mas se isso é logicamente ou conceitualmente possível. (tradução minha).

recuperar algum fôlego no debate, evitando que o tempo possa sofrer redução neste processo:

Um terceiro problema filosófico central no que respeita ao tempo, situando-se este sobretudo na área da filosofia da física, é o seguinte: Poderá o tempo existir sem mudança? Que a mudança não pode existir sem tempo é óbvio. Mas os absolutistas defendem que o tempo pode existir sem mudança: o tempo, defendem, é uma substância (razão pela qual a esta teoria também se chama "substantivismo"), e não um mero resultado da existência de particulares em mudança. Em oposição a esta ideia, os relacionistas defendem que o tempo não é coisa alguma além da mudança: sem esta, o tempo não existiria. O debate contemporâneo deste problema deve muito a um influente artigo de Sydney Shoemaker (n. 1931) publicado em 1969 e no qual se apresenta uma imaginativa experiência mental que procura mostrar que é possível ter boas razões para aceitar a existência de tempo sem mudança, ainda que tal coisa seja indetectável em princípio ⁶⁴.

Shoemaker, no artigo referido acima, efetivamente dá a saber que é possível fórmular um calendário em uma situação hipotética, para um mundo imaginário em que, em circunstâncias peculiares, nenhuma mudança pode ser percebida. Para não ser exaustivo nessa seção, basta dizer o seguinte: se o resultado de Shoemaker está correto, a intuição de Agostinho se confirma, e mais uma vez a hipótese que correlaciona fortemente tempo e mudança falha, agora do ponto de vista de uma suposta necessidade lógico-conceitual entre ambos ⁶⁵.

⁶⁴ Ver. http://criticanarede.com/met_tempo2.html *Crítica: revista de filosofia*, artigo traduzido por Desidério Murcho, retirado do livro *The Philosophy of Time*, org. por Robin Le Poidevin e Murray MacBeath. Oxford: Oxford University Press, 1993, pg. 236, Consultado em 24/02/2012.

⁶⁵ Para detalhes mais cuidadosos, ver em *Time Without Change*, 1969.

IV. 3iv O espaço-tempo de Minkowski;

Em 1908, Hermann Minkowski (1864-1909) pronunciou palavras que se tornaram célebres. A inteligência do matemático foi capaz de conceber que a teoria da relatividade restrita, como apresentada, podia ser construída em um espaço-tempo quadridimensional, pelo que seu nome está sempre lembrado entre os físicos e, mais recentemente, com o advento do quadridimensionalismo em filosofia, por filósofos do espaço e do tempo. Foram essas as palavras com que se pronunciou:

Cavalheiros! Os conceitos de espaço e tempo que gostaria de desenvolver perante vós erguem-se do solo da Física experimental. Aí reside sua força. As suas tendências são radicais. Doravante, o espaço por si só e o tempo por si irão mergulhar totalmente na sombra e somente uma espécie de união entre os dois continuará a ser real ⁶⁶.

Ao pronunciá-lo, promovia uma união bastante insólita, a qual só posteriormente mostrou toda sua importância. Einstein veio a reconhecê-la para a generalização competente do princípio de relatividade, na formulação de sua teoria da gravidade. A introdução desta seção justifica-se porque, qualquer que seja a redução essencial a que se queira relegar o espaço e o tempo, ela tem de ser uma e mesma, para ambos. Assim, quando se resume o espaço em orientações de localidades e o tempo em uma sucessão (movimento ou transformação) não se cumpre plenamente com isso, pois uma coisa é a ordem dos eventos no espaço e outra diferente é sua ordem, tal como elas estão dispostas no tempo, sobretudo para teorias não relativísticas:

A rigor, ideias como “espaço-tempo aristotélico” ou mesmo “espaço-tempo newtoniano” são injustificadas, se não quiméricas. Aristóteles, por exemplo, cuja teoria do espaço (...) era primordialmente uma teoria do lugar e cuja ideia de tempo estava longe da de uma dimensão tempoal, negava (ao menos implicitamente) a legitimidade lógica e ontológica da noção de variedade quadridimensional de espaço-tempo, sob a alegação de que essa união do espaço e do tempo implicaria o erro categorial de uma “metabasis eis allo genos” ⁶⁷ ”. Para efeito de

⁶⁶Hermann Minkowski, 21 de setembro de 1908, Colônia, Alemanha, 80º encontro da Associação Alemã de Cientistas e Médicos.

comparação entre teorias relativísticas e pré-relativísticas, é instrutivo considerar estas últimas no contexto das teorias do espaço-tempo, pois esse tratamento unificado possibilita traçar distinções filosóficas importantes que, de outro modo, passariam despercebidas. (Jammer, 2010, pg. 273-274).

As relações de sucessão e simultaneidade são relações temporais, não podem nos dizer muito, sobretudo para uma utilidade física, se não se acrescenta a elas coordenadas espaciais. Isso tornou-se mais e mais claro com o trabalho de Minkowski. Para dizer que o tempo “é o número do movimento segundo o antes e o depois” e ser conseqüente, teríamos que dizer o mesmo do espaço. Mas o espaço pode receber esse mesmo tratamento? Um intervalo de espaço é o movimento dos corpos? Essa é a razão principal para negar, em se admitindo a união do espaço e do tempo no espaço-tempo minkowskiano, que o tempo tenha recebido redução satisfatória na metafísica, desde a antiguidade. Em verdade, o uso da física de Aristóteles contempla no máximo intuições relacionistas básicas, as quais recebem melhor tratamento epistemológico que ontológico.

Agora, para o encerramento desta seção, é preciso apenas negar que o relacionismo seja somente a negação do substantivismo. O relacionismo é, muito claramente, uma tese ontológica positiva sobre o espaço-tempo. E se é realmente uma tese com uma proposta ontológica própria, deve ser capaz de apresentar, tanto quanto possível, as relações e deve ser capaz de provar que elas são suficientemente originárias. Caso isso não aconteça, a exigência pela observabilidade não é realmente uma exigência relacionista, mas uma exigência empirista a dirigir-se a ambos, relacionistas e substantivistas. Não basta que o relacionista apresente determinadas relações, posto que isso ele pode realmente fazer. É preciso que haja uma redução, de tal forma realizada que, por meio dela, torne-se evidente que espaço e tempo não podem existir sem aqueles elementos a que se reduzem. O nome de Mach é muito celebrado por essa razão, pois foi quem, talvez ao percebê-lo mais claramente, indicou o necessário para a construção de uma mecânica livre de forças absolutas, como convinha a um relacionista de tradição tão fortemente empirista. Mas, para o fechamento desta seção, é preciso reforçar as palavras dos diversos autores que estão, nesta dissertação, reunidos com esse propósito: mostrar que o relacionismo não é uma doutrina preferencial para quem aceita a

⁶⁷“Passagem para outro gênero”. Trata-se de um erro que consiste em passar de um domínio logicamente fechado para outro; por exemplo, da possibilidade à ordem da realidade.

relatividade, e a redução machiana, ou mesmo qualquer outra, é ainda uma esperança não realizada, razão pela qual a questão do espaço continua em aberto na metafísica e na história da filosofia do espaço e do tempo.

IV. 4 Resposta às exigências leibnizianas;

As exigências leibnizianas são retomadas pelo chamado “*hole argument*”, questão que já apresentei muito sumariamente por aqui. Também para uma caracterização breve, minha intenção nesta seção é apresentar algumas estratégias reunidas na literatura e, com isso, mostrar que também essas exigências não são suficientes para o substantivista abandonar o seu substantivismo, embora seja, sem dúvida, a mais severa objeção feita no contexto contemporâneo da teoria da relatividade. O argumento nos obriga, por razões relativas ao determinismo, a considerar apenas distâncias e relações, não admitindo localidades em “pontos” do espaço-tempo, como sugere o realismo inspirado na teoria da relatividade. Mas há uma saída a isso, ou seja, há maneiras de considerar os “pontos” no espaço-tempo sem o prejuízo evidente que o “*hole argument*” faz notar. Se o espaço-tempo é considerado substantivamente, é preciso dar um tratamento à covariância que tenha um resultado bastante específico, a saber, explicar como entender as diferentes construções possíveis para uma distribuição no espaço-tempo, dentro da região que corresponde ao “buraco”.

Maudlin (1989) percebeu que só há de fato o problema do indeterminismo se consideramos que as localidades no espaço-tempo são dotadas desse caráter contingente. Isso assume de forma tácita a implicativa de que as relações nos “pontos” são contingentes. Mas, e se assumimos que a identidade dos “pontos” ou regiões no espaço-tempo preserva um “essencialismo métrico”? Por essencialismo métrico entende-se que, para a determinação e individuação dos “pontos”, é essencial que os consideremos nas disposições tais e em que estão. Isso é possível? Se for possível, a consequência é que o indeterminismo associado à substantivação dos “pontos” no espaço-tempo desaparece. Desaparece, pois, segundo essa estratégia, cada “ponto” no espaço-tempo tem uma individualidade que lhe é própria, e essa individualidade inclui determinadas relações como não contingentes, de sorte que, qualquer redesignação é, segundo essa estratégia, apenas uma fictícia construção garantida pela covariância, mas não uma situação física possível para o mesmo “ponto” no espaço-tempo, que não pode ser redefinido nas relações que apresenta: as relações são essenciais para a identificação de “pontos” no espaço-tempo! Essa estratégia de resposta depende, contudo, de que se aceite serem essenciais propriedades relacionais, e faz, portanto, dos “pontos” no espaço-tempo em que essas relações acontecem, a única situação física possível, para

qualquer “ponto” que possamos especificar. Maudlin argumenta atribuindo ao essencialismo métrico a autoridade de Newton e Einstein, embora seja polêmico que um anacronismo a essa maneira possa ser feito. Ele argumenta no sentido de dizer que esses autores apresentam indícios de um essencialismo métrico, como quando em Einstein, para a discussão do “*hole argument*”, foi dito que a métrica é determinada unicamente pela distribuição da matéria, e assim os “pontos” só são distinguidos pelo “*metric field*” (Maudlin, 1988, pg. 29-30; 41-2). Certamente, o que Maudlin tem em mente é a relação entre o campo métrico G_{ik} e o tensor energia-momento T_{ik} . Na teoria da relatividade geral, o campo é determinado pelo tensor energia-momento, o que parece caracterizar a impossibilidade de especificar os atributos métricos de G_{ik} na ausência de matéria. Embora já tenhamos visto que é problemático dizer que o campo métrico é exaustivamente determinado por sua relação com a matéria, a relação entre eles na relatividade geral sugeriu a Maudlin que as relações métricas não podem ser modificadas sem que os “pontos” no espaço-tempo também o sejam:

A ideia de que os pontos no espaço-tempo são só o que são em virtude da estrutura métrica a que pertencem harmonizam-se bem com a tese, comum a Leibniz e Newton, de que é somente por sua ordem e posição mútuas que as partes no espaço-tempo são entendidas como sendo aquelas que na verdade são”, pois “elas não possuem nenhum princípio de individuação fora dessa ordem e dessas posições”. (Torretti, 1983, nota 7, pg. 167).

O essencialismo é a opção funcional para uma resposta ao chamado desafio de Leibniz, o qual pode ser assim exemplificado: caso haja uma transposição do leste para o oeste, haveria então um novo mundo? Inspirado em Leibniz, o chamado “*acid test for substantivism*”⁶⁸ tem a resposta substantivista como implicando o indeterminismo. Isso acontece porque os “pontos” no espaço-tempo são admitidos como substanciais, pois não poderia o substantivista, ao defender essa tese sobre “pontos” no espaço-tempo, dizer que a transformação do leste para o oeste é somente uma transformação relacional, como, por exemplo, seria se se tratasse de uma transposição dos objetos que estão a oeste para o leste, e somente isso, sem substantivação. Isso seria algo como uma “passiva transformação” (capítulo III, pg. 76). Se o determinismo falha, falha para uma

⁶⁸Teste corrosivo para o substantivismo. (tradução minha). A expressão “teste corrosivo” ou “teste ácido” tem o sentido de teste definitivo, “teste tiro e queda”, uma espécie de “tira teima”, portanto.

definição específica de determinismo, a qual pretende assegurar que haja um único mundo possível (a ser representado por modelos), apesar da diferença entre possíveis modelos de difeomorfismos d para M de M' . A mudança para o Oeste não produz um novo mundo nesse caso; assim sendo, preserva-se entre os relacionistas a chamada equivalência de Leibniz ⁶⁹. A falha nesta equivalência é entendida por Earman como uma prova de que não pode haver determinismo nas teorias sobre o espaço-tempo, em se adotando o substantivismo. O essencialismo é uma maneira de fugir à conjunção que a equivalência de Leibniz tem com o determinismo, sem o abandono de uma visão realista sobre os “pontos” no espaço-tempo. O difeomorfismo produz modelos, segundo Maudlin, de formas diferentes e essa diferença tem toda a importância nesse contexto de resposta. Como naquele caso pensado por Teller, os modelos podem ser admitidos como construções de “mudanças passivas” e “mudanças ativas”. Supondo um arrastar (*drag*) dos objetos e uma redistribuição dos mesmos ao longo do espaço-tempo, e tendo um referencial “fora do buraco”, as situações de interpretação possíveis se atribuem ao “arraste” para todos os “pontos” do espaço-tempo (i) ou a um “arraste” no chamado “*matter field*” (ii). Para Maudlin, o uso correto da equivalência de Leibniz contempla o segundo caso. Assim, Leibniz teria em mente que a substituição do leste pelo oeste resulta em uma diferente descrição, sem implicação para a métrica do espaço-tempo e sem nenhuma necessidade de recorrer a mundos possíveis para a questão do “*hole argument*” e seu difeomorfismo, evitando o indeterminismo, tal como esse é definido em Earman (1986). O que Maudlin precisa é provar que é possível responder “sim” ao desafio de Earman e Norton e, apesar disso, preservar o substantivismo do elemento indeterminista. O indeterminismo é eliminado quando se adota um tipo de realismo implicado pela sua teoria. O essencialismo métrico torna possível responder “sim” a esse desafio porque, tendo em vista que há certa individualidade inviolável pelo essencialismo sobre “pontos” no espaço-tempo, nenhuma equivalência de Leibniz é admitida entre modelos difeomórficos. Há apenas um mundo possível em que esses pontos existem, porque as relações são tal como em (i), ou seja, a troca do leste pelo oeste não pode ser produzida sem o agravante de que todas as relações sejam modificadas. Para a individuação de leste e oeste, as relações não são contingentes e, por isso, não produzem uma equivalência legítima. Isso funciona somente se aceitamos o essencialismo, pois, ao renegá-lo, ainda é possível optar por (ii) e concluir que o

⁶⁹A equivalência de Leibniz pode ser assim apresentada: dois modelos difeomórficos são leibnizianamente equivalentes se e somente se ambos representam a mesma situação física.

“arraste” produz apenas uma alternativa leibniziana, como em Teller. O mundo possível realizável pelo “arrastamento” dos objetos acaba por ter implicações métricas: um “arraste” semelhante produz outros mundos, os quais são ficções e cujos “pontos” no espaço-tempo não têm equivalência real com os “pontos” no espaço-tempo atual.

Jeremy Butterfield, apesar de cético quanto ao essencialismo métrico e ao defender o substantivismo de forma enfática, coincide com Maudlin em pontos que são importantes. Coincidem, por exemplo, sobre as implicações de ser substantivista. Para o substantivista, a única resposta possível a um desafio semelhante é que uma mudança de modelos dotados de difeomorfismo não são equivalências leibnizianas. A diferença é que é possível ser um “realista” sobre isso e não adotar um essencialismo métrico, no sentido de que um essencialismo métrico não permite pensar em trocar relações de leste a oeste, pois, para a individuação do espaço-tempo, as relações essenciais, quando modificadas, implicam na mudança total de situação. Ou seja, mudar um objeto do leste para oeste simplesmente não faz sentido se os “pontos” no espaço e no tempo forem pensados conforme o essencialismo métrico de Maudlin. Essa resposta é dotada de bastante originalidade: quem a leva a sério só pode adotar (i) e não (ii), sem que haja de fato indeterminismo. Como pretende então Butterfield fugir à conclusão indeterminista que é dada em Earman e Norton? Vejamos como se pronuncia sobre isso: The aim of this paper is to overcome this threat: I shall argue that an attractive version of substantivalism can admit an attractive version of determinism (Butterfield, 1989, pg. 1) ⁷⁰. Como a minha finalidade nesta seção é caracterizar as estratégias de resposta de modo breve e suficiente, não me estenderei muito no difícil texto de Butterfield, cheio de subtilezas e detalhes técnicos. Mas apontarei de modo suficiente, para a finalidade presente a essa seção, qual é a estratégia de defesa do substantivismo, assumida pelo autor como a opção realista neste debate:

Substantivalism is the claim that our physical theory commits us to the existence of spacetime points, and perhaps to spacetime as the set or mereological fusion of all the points. The popularity of this claim reflects the rise of scientific realism from the mid-1960's onwards. For scientific realism holds that one is committed to believing in the existence of those entities that are ineliminably referred to or quantified over by one's best scientific theories. And our best

⁷⁰O objetivo deste trabalho é superar essa ameaça: eu argumento que uma atrativa forma de substantivismo pode admitir uma atrativa forma de determinismo. (tradução minha).

spacetime theories are almost always presented as quantifying over spacetime points-with never a hint of how to eliminate such quantification. As an aspiring scientific realist, I find this version of substantivalism attractive. (Butterfield, 1989, pg. 1)⁷¹.

Mas qual a estratégia a que venho aludindo? Trata-se de, sem assumir o essencialismo métrico, recomendar uma definição de determinismo diferente da usual, derivada da teoria da relatividade e que, quando conjunta ao substantivismo, também entendido a um determinado modo, não resulta em violação do determinismo por teorias covariantes, como a relatividade geral. Norton e Earman não definem o determinismo de modo claro, pelo menos não nos momentos em que recomendam o “*hole argument*”. Porém, em 1986, pg. 13 ⁷², Earman retoma uma definição que fôra sugerida por Montague em 1974 ⁷³. Na definição em questão, o que aparece como condição é que, para dois modelos, se eles concordam em um tempo T , então há determinismo se e somente se concordam em todos os tempos, para qualquer fatia de tempo (slice) escolhida. Butterfield o define com as seguintes palavras:

The basic idea of determinism is this: a spacetime theory is deterministic if any two of its models that agree on the physical state at one time agree on the physical state at any other time. This idea needs to be made precise: 'agree on the physical state' needs to be spelt out in terms of diffeomorphisms and geometric objects, and 'at a time' needs to be spelt out in terms of time-slices defined by the spacetime's temporal structure. (Butterfield, 1989, pg. 2)⁷⁴.

⁷¹O substantivismo é a tese de que a nossa melhor teoria física nos compromete com a existência de pontos no espaço-tempo e, talvez, estejamos comprometidos com o espaço-tempo como um todo, enquanto fusão mereológica desses pontos. A popularidade desta afirmação reflete um crescimento do realismo científico, principalmente a partir de meados dos anos 60. O realismo científico é a tese de que estamos comprometidos com aquelas entidades inelimináveis que são referidas e/ou quantificadas em nossa melhor teoria científica. E nossa melhor teoria sobre o espaço-tempo, em geral, apresenta-se quantificando sobre pontos no espaço-tempo, e não há nenhuma ressalva de como essas quantificações podem ser eliminadas. Como entusiasta do realismo científico, acho essa versão do substantivismo atraente. (tradução minha).

⁷²Ver. Earman, 1986, *A Prior Determinism*.

⁷³Ver. Montague, 1974, *Deterministic Theories, in his Formal Philosophy*.

⁷⁴A ideia básica do determinismo é a seguinte: uma teoria do espaço-tempo é determinista se qualquer dois modelos que concordam sobre o estado físico em um dado tempo também concordarem sobre o mesmo em qualquer outro tempo. Essa ideia precisa ser explicada com maior exatidão: “concordar sobre um estado físico” precisa ser explicado em termos de difeomorfismo e objetos geométricos. “Em

As ressalvas para uma maior clareza dessa definição são enunciadas em termos de difeomorfismo para modelos e objetos geométricos e em termos de “fatias de tempo”, para usar com precisão a expressão “em um tempo”, dada uma estrutura espaçotemporal; apesar dessas ressalvas, Butterfield não nega que uma teoria a satisfazer essas condições seja determinista. O que Butterfield examina é a exigência por esse tipo de definição e não uma outra possível, que a essa não seja inferior e cuja consequência não é necessariamente o indeterminismo nas teorias covariantes. As críticas de Butterfield são quanto à possibilidade de nossas teorias satisfazerem essa exigência demasiado alta. Assim, diz-nos o autor, essa definição é tão forte que para ela pode falhar o determinismo em teorias muito aceitas, tais como o eletromagnetismo (em um espaço-tempo de Minkowski) e outras:

To require that any diffeomorphism giving local agreement also gives global agreement will be too strong: the definition would be violated by paradigm deterministic theories like electromagnetism in Minkowski space-time. (Butterfield, 1989, pg.7)⁷⁵.

Não é de se admirar, portanto, que o determinismo cause problemas para a covariância na relatividade geral. Em verdade, com essa exigência tão forte, todas as doutrinas de modelos que admitem variedades conjuntas poderiam sofrer da mesma sorte de problemas, quando se faz qualquer exigência pelo determinismo. Mas Butterfield não aponta esse caminho, muito pelo contrário. Na definição defendida por Butterfield (Dm2), não há exigência “global”, mas “local” para o determinismo. Isso significa que dois modelos da teoria não precisam ser tais que a comparação entre eles seja “global”, muito embora haja, de fato, concordância global. A exigência nesse caso é para uma região S no espaço-tempo, sendo S um tipo de região com uma variedade ocorrendo em modelos. Assim sendo, dois modelos $\langle M, O_i \rangle$ e $\langle M', O_i' \rangle$, contendo regiões S, S' de um tipo S , e um difeomorfismo a para S em S' :

um dado tempo” precisa ser melhor explicado em termos de fatias de tempo definidas (time-slices) em uma estrutura temporal no espaço-tempo. (tradução minha).

⁷⁵Exigir que qualquer difeomorfismo cuja concordância seja local também concorde globalmente pode ser demasiado forte. A definição pode ser violada para teorias que são paradigmas de determinismo, como o eletromagnetismo em um espaço-tempo de Minkowski. (tradução minha).

Se $a^* (O_i) = O_i'$ para $a(S) = S'$, então existe um isomorfismo B para M em M' tal que S em S' , i.e. $B^* (O_i) = O_i'$ em todo M' e $B(S) = S'$.

A primeira definição (Dm1), cujos incentivadores são dois dos principais autores do “*hole argument*”, tem a sua versão técnica dada por: uma teoria com modelos $\langle M, O_i \rangle$ é S -determinista quando S é uma região com certa variedade ocorrendo em modelos, então, dados quaisquer dois modelos $\langle M, O_i \rangle$ e $\langle M', O_i' \rangle$ e algum difeomorfismo d para M em M' , o qual “estica” qualquer “objeto absoluto” sobre M para M' , e alguma região S de M , de tipo S :

Se $d(S)$ é do tipo S e também $d^* (O_i) = (O_i')$ de $d(S)$,
então: $d^* (O_i) = O_i'$ para qualquer M' .

Segundo Butterfield, essa definição exige que as regiões S não sejam subvariedades (“*submanifolds*”). As subvariedades são exemplificadas por fatias (slices), e, nessa definição, não é sobre fatias que falamos. Não se pode, para fins de determinismo, assegurar apenas haver isomorfismo para fatias, é preciso comparar globalmente M e M' tal que o determinismo seja irrestrito, fazendo dessa exigência algo muito forte. Ou seja, exige-se que haja, para os modelos, um tipo de difeomorfismo que garanta $(O_i) = (O_i')$ para qualquer M' . Lembrando que $d(S)$ é do tipo S e $d^* (O_i) = (O_i')$ para $d(S)$, o que faz com que a exigência por $(O_i) = (O_i')$ seja também uma exigência por um tipo de equivalência entre $\langle M, O_i \rangle$ e $\langle M', O_i' \rangle$. Na segunda definição, cuja exigência é mais fraca, o difeomorfismo é a para S e S' e a exigência é pelo isomorfismo B para M em M' , tal que o isomorfismo implique em $B^* (O_i) = (O_i')$ para qualquer M' . A exigência na definição mais fraca, relevante para a sua compreensão, é pelo difeomorfismo em a , tal que a região $S = S'$. É uma exigência que torna o âmbito das teorias deterministas maior. O isomorfismo B é global, ou seja, para qualquer “ponto” no espaço-tempo e as relações entre objetos geométricos O_i e O_i' . Mas a definição diz do difeomorfismo a em região S e S' de tipo S , já o difeomorfismo na definição de Earman é para M de M' , ou seja, mais irrestrito que no segundo caso. No texto de Butterfield, as definições são abreviadas em Dm1 e Dm2, respectivamente, para o difeomorfismo irrestrito de Dm1 para M em M' e o difeomorfismo a de S em S' . O autor percebe que as teorias covariantes podem oferecer um contra exemplo a Dm1, sem, contudo, falhar para Dm2 ⁷⁶:

⁷⁶Mais adiante, ainda nesta seção, irei procurar comentar essas definições de modo mais cuidadoso, a partir da página 116. Nesta ocasião, farei a relação entre o substantivismo considerado atrativo (uma

However, Dm1 is violated by a theory with two models related by a hole diffeomorphism; and thus by any (GC)-theory. For let $\langle M, O_i \rangle$ and $\langle M, O_i' \rangle$ be related by a hole diffeomorphism d which is identity on S as extensive as you like. The identity map i on M is a diffeomorphism between the models with $i^*(O_i) = O_i'$ on S ; while $i^*(O_i) \neq O_i'$ in the hole, $M-S$. And since there are no absolute objects that i is required to drag into coincidence, i is a counterexample to Dm1. (Butterfield, 1989, pg. 8)⁷⁷.

Como Butterfield não tem nenhum interesse em defender Dm1, a adoção de Dm2 se torna automática. Antes de prosseguir, cumpre lembrar aquilo que, segundo o autor, é essencial a qualquer definição para determinismo, e mostrar que Dm2 é suficientemente competente em apreendê-lo. É preciso que qualquer definição mostre haver um único mundo possível a ser exemplificado pelos “pontos” no espaço-tempo e suas relações. Pois bem, Dm2 é restrita ao difeomorfismo a de S em S' . Há um único mundo possível para dois modelos M e M' cujas regiões S e S' concordam sobre os códigos para relações entre objetos geométricos no mundo físico real, conforme a exigência. Mas, assim como está, não se entende porque o autor é adepto do substantivismo, pois se não reconhece o essencialismo métrico e, ainda, poderia concordar com Earman sobre a abordagem de modelos a serem tratados como alternativas leibnizianas, por quais observações deixa perceber o substantivismo e como responde à objeção indeterminista? Essa pergunta nos leva diretamente à seguinte, que o autor efetivamente se faz: como poderá o substantivista advogar a defesa de que dois modelos difeomorfos não são dois mundos possíveis, mas apenas um? Antes de apresentar a resposta de Butterfield, é necessário introduzir ainda uma questão (técnica) inspirada no desafio de Norton-Earman, e alguns conceitos envolvidos nas respostas possíveis. Eis o desafio:

(Same) Suponhamos uma teoria e dois modelos $\langle M, O_i \rangle$,
 $\langle M', O_i' \rangle$, cujo conjunto básico é o mesmo. Isto é, M e M'

versão para os modelos de uma teoria inspirada em David Lewis) com uma definição de determinismo, também atrativa, inspirada na teoria da relatividade geral.

⁷⁷No entanto, Dm1 é violado por uma teoria com dois modelos relacionados por um “hole diffeomorphism”, e assim para qualquer teoria (GC – covariante). Dado que $\langle M, O_i \rangle$ e $\langle M', O_i' \rangle$ são relatados por um “hole diffeomorphism” d , no qual haja identidade sobre S - co-extensividade em S , se preferirem. O mapa de identidade é um difeomorfismo entre os modelos com $i^*(O_i) = O_i'$ sobre S ; enquanto $i^*(O_i) \neq O_i'$ no buraco, $M-S$. E uma vez que não existem objetos absolutos que eu deva necessariamente “arrastar” com coincidência, tem-se em i um contra-exemplo de Dm1. (tradução minha).

são construídos tendo a mesma base de pontos e ambas têm um difeomorfismo d de M em M' “esticando” os objetos geométricos O_i e O_i' (os objetos e não somente a métrica). Note que esses modelos podem ser “pintados” (“*painted*”) de diferentes maneiras para suas relações e propriedades (codificadas pelos objetos), sobre os “pontos” do conjunto básico. Agora, pergunta-se: cada modelo representa o mesmo mundo físico?

Nós podemos, é claro, responder “sim” e “não” ao desafio chamado (Same). Caso respondamos não, como os substantivistas em geral, há duas possibilidades, nomeadas, no texto de Butterfield, (Each) e (One). A primeira é uma resposta que aposta na ideia de que cada modelo representa um diferente mundo; assim, o determinismo falha para (Each). (One), ao contrário, é a ideia de que há no máximo um dos dois modelos a representar um mundo fisicamente possível. O outro mundo representado pelo modelo pode ser tanto uma ficção de pensamento ou um mundo possível dotado de “contrapartes”, em uma relação com o mundo real (para qualquer que queira aceitar o realismo modal). Earman e Norton têm observado que na prática física o mais usual é tratar a questão como em (One), e relatam, muito corretamente, que o substantivista, sem mais ressalvas e por conta de seu realismo sobre “pontos”, deve aceitar (Each), ou seja, além de falhar para o determinismo, falha também para a prática científica mais ortodoxa. Butterfield, porém, nega que todo substantivista deva adotar (Each). Na verdade, há uma boa razão para apontar (One). É aqui que chegamos de novo à nossa indagação acima: como pode o substantivista responder “não” e (One) ao desafio proposto, advogando, como se sabe, o referido realismo sobre os “pontos” no espaço-tempo? As respostas são, segundo Butterfield, o essencialismo de Maudlin (ou uma variante desse) e a adoção de uma doutrina das “contrapartes”, negando, contudo, que haja “identidade entre mundos” dos “pontos” no espaço-tempo, que só podem ser exemplificados em um único mundo físico possível (One) e conseguindo, com isso, o mesmo resultado que o essencialismo de Maudlin, sem, contudo, fazer a admissão de que todas as propriedades são essenciais para a identificação dos “pontos”. Trata-se de utilizar a doutrina das “contrapartes” como uma tentativa de solucionar a dificuldade. Não se trata, e o autor é enfático em dizê-lo, de assumir uma posição no debate sobre o chamado “realismo modal”:

This is not the place to defend possible worlds. For a recent account of their usefulness in analysing or explicating philosophically interesting notions, and of the debate about their nature, cf. Lewis [1986]. Suffice it to say here that in the present application of possible worlds, as in so many others, we can very largely remain neutral on the debate about their nature; in particular, about whether Lewis' controversial realism is right. (Butterfield, 1989, pg. 11)⁷⁸.

É possível fazer uso de tal doutrina sem participar de mais essa polêmica filosófica. O grande defensor da “doutrina das contrapartes”, como se sabe, é David Lewis. Sua doutrina assegura três coisas: a) nenhum objeto ocorre em dois mundos; b) o discurso modal encontra condições de verdade na doutrina das “contrapartes”; c) a doutrina torna possível ainda tratar “*de re*” sentenças modalizadas (sentenças para as quais precisam ser especificadas se, dada a sua verdade, há necessidade ou contingência; ou seja, é preciso especificar os “modos de verdade” daquelas). Os objetos têm suas contrapartes formadas por relações de semelhança, tal como nos modelos que representam os objetos geométricos em $O_i = O_i'$. Assim, em um exemplo possível, a sentença “se eu tivesse estudado medicina, hoje estaria ganhando dinheiro” tem condições de verdade que são dadas por um habitante de um mundo qualquer, o qual é muito semelhante a mim em suas condições iniciais e, após certo tempo, diferente, pois esse habitante é médico após a faculdade e, por suposto, está ganhando dinheiro! Para uma defesa completa da teoria usada por Butterfield, é sempre útil citar a referência: (Lewis, 1968; 1973, pg. 39-43; 1986, Capítulo 4). Mas Butterfield precisa ser enfático em negar o que se chama “identidade entre mundos”, para os “pontos” no espaço-tempo, para as relações entre objetos geométricos e os objetos eles mesmos: I propose that we deny transworld identity to points: any point is a part of just one possible world (Butterfield, 1989, pg. 26)⁷⁹. É um problema dizer, por exemplo, para o realismo modal de David Lewis, como podemos discursar sobre a “contraparte” de Humphrey e dizer, “*de*

⁷⁸Este não é um lugar para a defesa dos mundos possíveis. Para um recente desenvolvimento de sua análise ou para uma explicação de noções filosoficamente interessantes, e para um debate sobre a sua natureza, ver em Lewis (1986). É suficiente dizer aqui que na presente aplicação de mundos possíveis, como em muitos outros, nós podemos, em grande parte, permanecer neutros sobre a natureza dos mundos possíveis, em particular, sobre se a controversa posição de Lewis, o realismo modal, está correta. (tradução minha).

⁷⁹Eu proponho que neguemos a identidade dos pontos entre mundos: qualquer ponto é uma parte de somente um mundo possível. (tradução minha).

re”, que neste outro mundo ele foi presidente ⁸⁰. David Lewis tem sua saída própria para isso, mas segundo Butterfield ele nega a “identidade entre mundos”, e sua solução passa pela sua negação, o que não precisamos destacar com detalhes aqui, pois, para a finalidade de resposta ao “*hole argument*”, Butterfield adota (One) e isso é incompatível com qualquer “identidade entre mundos”. Para fazer da doutrina das “contrapartes” um recurso filosófico útil, ele se vale da sugestão lewisiana de que outros mundos podem ser construídos com os chamados objetos “*Ersätze*” ⁸¹. Igualmente, recorre à ideia da “duplicação” e apresenta as “contrapartes” como casos que são mais bem entendidos como isomorfismos entre modelos. Vejamos como faz essas associações e como o resultado é salvar o substantivista da ingratidão de seu rótulo indeterminista, passo por passo. A primeira coisa é entender de forma precisa a similaridade entre modelos comparados para fins de isomorfismo:

A precise notion of similarity (intrinsic for regions, largely extrinsic for points) is captured by the idea of isomorphism for spacetime regions. Indeed, isomorphism captures, for spacetime theories, Lewis' recent idea of duplication. Lewis advocates this idea as one application (among many) of a distinction among properties. Lewis construes properties in terms of his ontology of possible worlds and possible objects, each confined to its world: any class of possible objects is a property. Intuitively, the class is the property's extension across all the worlds. He distinguishes an élite minority of natural properties, whose sharing makes for resemblance, which are relevant to the causal powers of objects, and which it is the business of science to discover; the countless throng of other properties are unnatural. (He similarly distinguishes natural and unnatural relations.) This distinction is contentious; in particular, Lewis holds that a property is natural or not, once and for all-not relative to a world or a theory. He urges the distinction by appeal to its beneficial consequences: a single

⁸⁰ Hubert Humphrey, vice presidente dos Estados Unidos no mandato de Lyndon B. Johnson. Exemplo do autor (1989) pg. 16, 22-23.

⁸¹ Ersatz, palavra que em alemão significa “substituto”. No inglês, essa palavra é comumente usada como adjetivo, para se referir sobretudo a alguma inferioridade do substituto em relação ao original. No nosso contexto, a palavra é usada tal como no original em alemão. Assim, construímos um mundo possível para o qual há um substituto de Sócrates, e nesse mundo o substituto é aquela coisa que mais se parece com Sócrates e, ao mesmo tempo, é a coisa que se parece suficientemente com ele.

distinction turns out to have many useful applications [1983].
(Butterfield, 1989, pg. 23-24)⁸².

Butterfield retira ferramentas para o seu projeto substantivista. As distinções entre propriedades naturais – comuns a uma classe de indivíduos entre mundos – e a maior parte das propriedades, chamadas de “*unnatural*”, são usadas para o entendimento de uma definição de determinismo em termos de “cópia perfeita”, ou, nas palavras desses autores, “duplicação” de mundos. Assim, a duplicação acontece quando: i* ambos os mundos têm as mesmas propriedades; ii* ambos têm as mesmas “relações naturais” (1983, pg. 355-558; [1986], pg. 61-63). Feita essa ressalva, a definição de determinismo lewisiana, é: para dois mundos, um é a “cópia” do outro se e somente se, ao concordarem em um segmento, concordam ambos sobre o estado do todo; e o mundo é determinista se e somente se é possível realizar uma “cópia” que satisfaça essa exigência. Lewis tinha em mente um determinismo em que o segmento inicial e o todo são comparados na ordem do futuro para o passado. Seguindo a reflexão de Butterfield, supomos agora mundos (aceitando para isso o substantivismo e certa limitação para relações codificadas e propriedades dos objetos geométricos, a saber, que só neste mundo se dão as relações e propriedades exemplificadas pelos “pontos” no espaço-tempo) com variedades M e M' e com objetos geométricos O_i , O_i' ; e supondo agora que as relações e propriedades codificadas por esses objetos são do tipo “natural”. Agora, diz-nos Butterfield, a duplicação pode significar que regiões no espaço-tempo são duplicadas se e somente se elas são isomórficas. A quantificação existencial sobre a correspondência das partes torna-se uma quantificação para difeomorfismos. Podemos ver facilmente que Lewis apresenta uma definição compatível com $Dm1$, caso mais irrestrito apresentado acima. Mas Butterfield se aproveita disso e torna essa definição satisfatória para $Dm2$ também:

⁸²Uma noção precisa de similaridade (intrínseca para regiões, em grande parte extrínseca para pontos) é capturada pela noção de isomorfismo para regiões no espaço-tempo. Em verdade, o isomorfismo captura, para teorias no espaço-tempo, o mesmo que a ideia recente de Lewis, a duplicação. Lewis advoga essa ideia para uma aplicação (dentre muitas possíveis), uma certa distinção entre propriedades. Lewis interpreta propriedades em termos de sua ontologia de mundos possíveis e objetos, cada qual confinado em seu mundo. Intuitivamente, uma classe é a extensão dessas propriedades em todos os mundos. Ele distingue uma minoria de propriedades naturais, cuja repartição estabelece semelhanças, as quais são relevantes para os poderes causais dos objetos. Cabe à ciência descobrir o incontável número de propriedades que não são naturais (similarmente, ele distingue relações que são naturais das que não o são). Essa é uma distinção controversa; em particular, Lewis afirma que uma propriedade é natural ou não, não apenas em relação a um mundo ou teoria. Ele exorta à distinção por um apelo à sua utilidade: uma distinção útil, única e acabada. (tradução minha).

We can now make Lewis' definition equivalent to Dm2, by generalizing from determination by the past to determination by a region S. Thus let us say that two worlds diverge off S iff: (1) they both contain regions S, S' of kind S; and (2) there is a diffeomorphism $a: S \rightarrow S'$ with $a^*(O_i) = O_i'$ on $a(S) = S'$; and (3) there is no global isomorphism $B: M \rightarrow M'$ with $B^*(O_i) = O_i'$ and $B(S) = S'$. (Notice that in (3), B is not required to extend a; so (3) is a strong denial, and divergence off S is a strong notion.) And let us say that a theory is S-deterministic if no two worlds, diverging off S, both make it true. This is plainly equivalent to Dm2. (Butterfield, 1989, pg. 24-25)⁸³.

Butterfield reconhece ter duas opções para seguir o seu caminho. Ele pode, como já foi dito, adotar a doutrina das “contrapartes” e assumir o risco de ser vago para as semelhanças que fazem uma “contraparte”; pode também usar a duplicação e, com isso, adotar a “identidade entre mundos”, pois copiar os mundos é o mesmo que tornar cada “ponto” repetível, no sentido da resposta usual que o leibnizianismo tem dado a (Same). Mais isso não é compatível com (One). Por essa razão, pela preferência por (One), ele adota a “contraparte” para falar das relações entre modelos. Em verdade a definição de determinismo, mesmo a lewisiana, a qual não tinha em mente uma definição para a metafísica do tempo, não exige que se abandone a “identidade entre mundos”; a razão para abandoná-la é (One), que o autor faz questão de adotar. Para isso, ele define “contraparte” como sendo um isomorfismo para regiões entre mundos (já vimos que ele trata os modelos como sendo mundos possíveis, daí a necessidade de se justificar quanto a sua opção por [One]). A ressalva é que adotar as “contrapartes” torna possível que se aceite (One), pois uma “contraparte”, como já vimos, é não mais que um substituto “*Ersatz*”, significando por isso que no “outro mundo” podemos falar de um modelo possuidor de isomorfismo, de modo que os objetos e as relações são tais que $S \rightarrow S'$ e $O_i \rightarrow O_i'$, para todo M' , mas os “pontos” no espaço-tempo não são compartilhados entre M e M'. Continua a ser um único mundo possível aquele em que os “pontos” existem, o “outro mundo” tem uma contraparte destes “pontos”, mas não os mesmos

⁸³Nós podemos tornar a definição de Lewis equivalente a Dm2, para generalizar a determinação pelo passado a uma determinação por uma região S. Assim, podemos dizer que dois mundos divergem fora de S, se e somente se, (1) ambos contêm regiões S e S' de tipo S, e (2) eles têm um difeomorfismo $a: S \rightarrow S'$ com $a^*(O_i) = O_i'$ para $a(S) = S'$; e (3) eles não têm um isomorfismo global $B: M \rightarrow M'$ com $B^*(O_i) = O_i'$ e $B(S) = S'$. (Note que em (3) não há nenhum requerimento de extensão a a; assim (3) é uma negação bem forte, e a divergência fora de S é uma noção forte). E podemos dizer que uma teoria é S-determinista se em dois mundos eles não divergem fora de S, ambos tornando isso verdadeiro. Isto é plenamente equivalente a Dm2. (tradução minha).

“pontos”⁸⁴. Também não é importante se somos realistas com respeito aos mundos possíveis ou não. O autor permanece neutro sobre isso, pois adotar o discurso modal a tratar os modelos como mundos possíveis e suas “contrapartes” não o obriga a adotar o realismo modal de David Lewis. Retomando a linha em que se segue a argumentação: responde-se “não” a (Same), responde-se (One) nas opções dadas entre (One) e (Each) e adota-se a doutrina das “contrapartes”, significando com isso que as “contrapartes” são isomorfismos de regiões, e os objetos ou relações (métricas etc.) são “*Ersatz*”, na “contraparte” em questão. Assim, para mundos serem isomórficos em d é preciso que cada “ponto” p no primeiro mundo e sua auto-imagem $d(p)$ sejam “contrapartes” relativamente a d . E para mundos serem combinados (combinar um modelo com a região S de um mundo) pelo difeomorfismo d (no sentido da definição Dm1 e Dm2), é preciso que S e sua imagem $d(S)$ sejam “contrapartes” relativas a d . O autor vê como vantagem nas “contrapartes” a possibilidade de tratar os modelos como isomorfismos sem recorrer à “identidade entre mundos”, satisfazendo a definição de determinismo Dm2 que pode salvaguardar teorias covariantes do indeterminismo. É preciso perceber ainda que as “contrapartes” são melhores exemplificadas no contexto Dm2. Isso se percebe comparando, para fins de determinismo, tal como em Dm2, o que seria natural se repensássemos uma escolha diferente de (One). Por exemplo, em um caso em que aceitamos a ocorrência dos mesmos “pontos” no espaço-tempo para dois modelos. Agora podemos pensar o determinismo como uma situação de correspondência global entre as partes exemplificadas, em que os modelos são cópias lewisianas se e somente

⁸⁴Para esclarecer ainda mais como é possível adotar (One) conjuntamente à doutrina lewisiana (feitas todas as ressalvas que Butterfield faz), pode-se estabelecer uma distinção entre “mundo possível” (que diz respeito principalmente a um tratamento que é dado a cada modelo da teoria) e “mundo fisicamente possível” (aquele modelo que representa a maneira como se distribui a variedade física que existe no nosso mundo). Isso torna (One) e a abordagem lewisiana compatíveis entre si, pois (One) diz que os dois modelos não podem representar “mundos fisicamente possíveis”, apenas um dos modelos pode representá-lo. Isso não significa que a abordagem em termos de mundo possíveis é inconsistente, pois a distinção é clara e muito significativa, e sobre ela há bastante literatura na metafísica sobre modalidades. Bob Hale (1996), Jonatham Lowe (1998) e Nathan Salmon (1989), por exemplo, definem necessidade lógica e necessidade física de modo concordante com o seguinte: “ p é uma necessidade lógica se e somente se p pode ser derivado das leis da lógica...” e “ P é uma necessidade física se e somente se P pode ser derivado das leis da física”. Algo pode ser uma necessidade lógica e não ser uma necessidade física. Assim, se algo é “logicamente possível”, pode ser um “mundo possível”, como os dois modelos adotados; mas para que seja “fisicamente possível”, a condição é outra (é necessário que seja uma representação da variedade de objetos geométricos e suas relações no nosso mundo), ou seja, não basta que seja possível no sentido mais irrestrito: um objeto de pensamento não contraditório. Não precisamos adotar essas definições modais, as quais são, na literatura, muito discutíveis. Para a finalidade da minha seção, é suficiente remarcar a diferença que existe entre o “fisicamente possível” (aquilo que apenas um dos modelos pode representar) e aquilo que é simplesmente “possível”. (qualquer modelo consistente da teoria).

se o difeomorfismo entre os mundos combinados é tal que se estende a todos os “pontos” na região:

We can also see why counterpart theory can accommodate Dm2 more easily than essentialism-or any doctrine of transworld identity--can. If we believe that a point can occur in two worlds, we are bound to think that matching of worlds on a region can be given a strong sense: the very same points with the very same properties and relations to each other. And if we are given a pair of worlds that match on a region in this strong sense, then we are bound to think that the only sense of global matching that can be relevant to judging whether determinism is upheld or violated by this pair is a sense that extends the given match-and thus respects the identity of the points of the region. That is, the global diffeomorphism between the worlds must extend the identity map on the region. Dm1 incorporates this requirement; Dm2 does not-and we saw (p. 9) that it cannot do so, on pain of being violated by hole diffeomorphs, and so ruling all (GC)-theories indeterministic (Butterfield, 1989, pg. 26)⁸⁵.

Para a finalidade de destacar ainda mais a opção de Butterfield das outras possíveis estratégias, podemos aceitar que os pontos sejam compartilhados e assim aceitar a estratégia de definição de determinismo lewisiana, como implicando em Dm1, antes de torná-la consistente com Dm2. Qual é o cenário possível para essas admissões? O preço a se pagar é conservar uma exigência muito alta, típica de Dm1 para fins de determinismo. A exigência é estender o difeomorfismo, exigindo um modo global de comparação que tenha como resultado a “identidade do mapa sobre a região”. O preço não é somente tornar o determinismo falho para quem adota o substantivismo, mas, além disso, falhar para teorias científicas muito aceitas. A rejeição de Dm1 é feita por essa razão. Dm2 compartilha com Dm1 o fato que ambas podem ser utilizadas para

⁸⁵Nós podemos ver que a doutrina das contrapartes acomoda mais facilmente Dm2 do que o essencialismo ou a doutrina das “identidades entre mundos”. Se acreditamos que um ponto pode ocorrer em dois mundos, somos levados a pensar que a correspondência entre mundos em uma região pode ser dada em um sentido forte: os mesmos pontos com as mesmas relações e propriedades entre si. E se nos é dado dois mundos que correspondem em uma determinada região, nesse sentido forte, então somos obrigados a pensar que o único sentido da correspondência global relevante para uma discussão sobre se o determinismo é exemplificado ou não para esses mundos é um sentido que se estende à combinação e, assim, respectivamente, para cada ponto da região. Isto é, o global difeomorfismo entre os mundos precisa estender o mapa de identidade da região. Dm1 incorpora este requisito; Dm2 não e, nós dizemos (pg. 9), não pode fazê-lo, sob pena de ser violado por um “hole diffeomorphs”, e assim resultar em indeterminismo para todas as teorias (GC-covariantes). (tradução minha).

saber quando um modelo da teoria falha para o determinismo, porém, como Dm2 não pede “cópia” ou comparação global entre os “pontos”, é possível salvar a covariância nas teorias do rótulo de indeterminismo. Retomando os aspectos de Dm2, pode-se entendê-lo melhor: Dm2 exige um difeomorfismo a entre variedades M e M' para regiões com objetos geométricos, regiões S e S' de tipo S , cuja característica é implicar uma condição de isomorfismo B , mas não uma comparação global, como no caso da cópia lewisiana, alternativa mais acomodável a Dm1. Bastaria salvaguardar, para teorias dotadas de covariância, que haja satisfação da condição acima, sem extensão para todos os “pontos” na região. Earman e Norton adotam a equivalência leibniziana, e, assim, torna-se possível para eles defender Dm1, pois qualquer dois isomorfismos ocorrentes exemplificam o mesmo mundo, tal como uma “cópia” lewisiana pode fazer. Para utilizar um termo usado em Teller, um isomorfismo entre dois modelos é uma alternativa leibniziana, e falhar com a equivalência de Leibniz é falhar com o determinismo. Butterfield não concorda com isso, e faz ver que é possível (via a doutrina das “contrapartes”) negar que haja equivalência leibniziana entre modelos sem falhar com o determinismo, se para fins de determinismo não se exige mais algo requerido pelo exemplo da “cópia” lewisiana (que Dm1 exemplifica também). Em um texto de 1988 ⁸⁶, Butterfield tenta responder a objeções e enfatizar uma ou outra coisa com a finalidade de maiores esclarecimentos. Quando fala das distinções entre as definições em Dm1 e Dm2, torna-se bastante útil para entender a defesa do determinismo com uma definição que, ele enfatiza, é derivada da relatividade, para teorias com estruturas métricas (códigos para campos métricos e conexões). A definição dessas teorias tem grande importância para entender um ponto que já mencionei, sobre como Dm1 falha para o determinismo em teorias muito aceitas. Primeiro, consideremos as teorias sobre estruturas métricas. A primeira delas faz a exigência por uma estrutura fixa a fornecer um *framework* para todos os modelos da teoria (Earman, 1986, pg. 24). É como se a estrutura métrica fosse um quadro fixo no qual o conteúdo material do espaço e do tempo (codificados pelo campo métrico) pudesse ser “pintado”. No segundo tipo de teoria, as estruturas métricas são tratadas como campos de matéria satisfazendo equações de campo. A relatividade geral é uma teoria deste tipo. Exemplos do primeiro tipo são encontrados na teoria de Newton e na relatividade especial. Para efeito de “*hole argument*”, somente teorias de segundo tipo podem ser consideradas, pois é para elas

⁸⁶Ver. “Einstein meets David Lewis” 1988.

que encontramos modelos não isométricos: por haver uma relação entre matéria e estrutura métrica, podemos construir um modelo cujos “pontos” invertem suas posições em um “arraste”, em pares de modelos a construir um difeomorfismo, ou seja, uma “coincidência métrica” pode ser construída entre eles, em uma espécie de mapa no qual o “arraste” inverte “ponto” por “ponto” (Butterfield, 1988, pg. 67). O determinismo não é imediatamente violado por teorias do primeiro tipo, mas, para a relatividade geral, por exemplo, o determinismo é violado em Dm1 e, segundo Butterfield, não violado em Dm2. O determinismo considera que (slices) do espaço-tempo devem concordar em modelos. Mas para duas variedades, o determinismo implica que vetores ou tensores devam concordar em ambas? Para concordar neste ponto (os chamados objetos geométricos), é preciso dizer que a concordância entre eles é um difeomorfismo – “arraste” de vetores e tensores de um modelo, de forma tal que eles coincidam em outro. Os autores parecem aceitar que o determinismo tenha como implicação que “vetores” concordem em um “arraste”, pois isso é a salvaguarda da ideia básica, aqui já bastante apresentada, de que o determinismo assegura um único mundo possível exemplificado pelas relações, quaisquer que sejam, a ocorrerem nos chamados “pontos” no espaço-tempo. A teoria não tem difeomorfismo para todo e qualquer modelo. Então, é preciso fazer uma condicional sobre a existência de um difeomorfismo global, para modelos contendo variáveis e para variedades de um certo tipo. Assim, como já vimos, falamos de modelos com essa estruturação mais técnica: um par de modelos $\langle M, O_i \rangle$, $\langle M', O_i' \rangle$ etc. A concordância se dá aqui entre um difeomorfismo d , um “arraste” ao longo do mapa d^* , cuja consequência é a concordância entre os objetos geométricos em O_i e O_i' . São esses os “ponteiros” com os quais o autor remarca suas definições mais técnicas dos textos de 1988 e 1989. Agora, estamos em melhores condições para explicar as diferenças que dão a Dm2 qualidades tão apreciáveis. Para a construção de uma definição em Dm1, o autor estabelece uma distinção entre “objetos absolutos” e “objetos dinâmicos”. Os primeiros são “o mesmo”, ou seja, não variam para dois modelos; no segundo caso, eles variam. Somando essas informações a uma atenção devida para o escopo dos quantificadores (para qualquer difeomorfismo d tal que...), podemos começar a informar-nos melhor sobre cada vantagem a respeito de Dm2. Para tal, reapresento Dm1 ⁸⁷ e falo sobre ele primeiro: para qualquer difeomorfismo de M em

⁸⁷ A definição que vou apresentar é a mesma já demarcada anteriormente, contudo, há uma ou outra diferença de escrita que vou seguir, posto que neste momento apresento-a relativamente à forma como essa é apresentada em um texto de 1988.

M' que “arrasta” qualquer “objeto absoluto”, de modo a fazê-lo coincidir com o “objeto absoluto” em M' , subscreve-se a seguinte definição:

Dm1: uma teoria com modelo $\langle M, O_i \rangle$ é S-determinista quando S é um tipo de região com variedades de um determinado tipo ocorrendo em modelos e, se e somente se: dados quaisquer dois modelos $\langle M, O_i \rangle$ e $\langle M', O_i' \rangle$ e qualquer difeomorfismo d para M em M' , o qual faça coincidirem quaisquer objetos absolutos entre O_i e quaisquer objetos absolutos entre O_i' em todo M' , e dado qualquer região R de M , de tipo S:

se $d(R)$ é do tipo S, e também para todo $id^*(O_i) = O_i'$ em $d(R)$, então, todo $id^*(O_i) = O_i'$ para qualquer M' .

Agora, cumpre entender porque essa definição falha, segundo o autor, para o determinismo de teorias de segundo tipo: aquelas em que se aplica o “*hole argument*”. Segundo o autor, algum “*two hole diffeomorphism*” pode fazer o determinismo falhar e, para mostrá-lo, a “identidade do mapa” é suficiente. Consideremos então a seguinte passagem para tentar entendê-lo:

Let $\langle M, O_i \rangle$ and $\langle M, d^*(O_i) \rangle$ be related by a hole diffeomorphism d which is identity on R - as extensive as you like. The identity map id on M is a diffeomorphism between the models with $id^*(O_i) = O_i'$ on R ; while $id^*(O_i) \neq O_i'$ in the hole, $M - R$. And since there are no absolute objects that id is required to drag into coincidence, id provides a counterexample to Dm1. (Butterfield, 1988, pg. 71)⁸⁸.

O autor parece entender que a “identidade do mapa” (desde que não haja “objeto absoluto” a tornar coincidente o “arraste”), faz de id^* em um “*hole*” $M-R$, um bom contra-exemplo a tornar Dm1 falho para um par de “*hole diffeomorphism*”. A situação é interessante. Butterfield acusa Earman e Norton de incorrem no indeterminismo, o mesmo que esses autores faziam como acusação para substantivistas! O preço a se pagar por pensar uma definição que retenha distinções entre “objetos absolutos e dinâmicos” é

⁸⁸Dado $\langle M, O_i \rangle$ e $\langle M, d^*(O_i) \rangle$ serem relacionados por um “*hole diffeomorphism*” d no qual há identidade sobre R – os modelos são extensivos em R , se preferir. O mapa de identidade id sobre M é um difeomorfismo entre modelos com $id^*(O_i) = O_i'$ sobre R ; tal que $id^*(O_i) \neq O_i'$ dentro do buraco, $M-R$. É uma vez que não há nenhum objeto absoluto requerido para que o “arraste” em id seja coincidente, temos em id um contra exemplo a Dm1. (tradução minha).

que, na ausência de “objetos absolutos” e na presença de um par de “difeomorfismo/buraco” – “um mapa de identidade sobre M tal que $id^*(O_i) = O_i$ sobre a região R , o determinismo pode encontrar um contra exemplo $id^*(O_i) \neq O_i$ ”; ou seja, o buraco não resulta em um difeomorfismo comum, como os que satisfazem Dm1 quando Dm1 diz: “qualquer difeomorfismo d para M em M' , o qual faça coincidirem quaisquer ‘objetos absolutos’ entre O_i e quaisquer ‘objetos absolutos’ entre O_i' , em todo M' ...” Isso porque, em um “*hole difeomorfismo*”, os objetos podem não coincidir como a definição exige. Para explorar mais o tema das definições, volto ao mesmo texto na tentativa de explicar agora a definição Dm2:

Dm2: uma teoria com modelos $\langle M, O_i \rangle$ é S-determinista, quando S é um tipo de região na qual ocorre uma variedade de certo tipo em modelos, se e somente se, dados quaisquer dois modelos $\langle M, O_i \rangle$ e $\langle M', O_i' \rangle$ contendo regiões R, R' de tipo S , respectivamente, e para qualquer difeomorfismo d cujo domínio de definição inclua R e que mapeia R para R' :

Se $d^*(O_i) = O_i'$ para $d(R) = R'$, então, existe um isomorfismo f em M para M' “que envia” R para R' , i.e. $f^*(O_i) = O_i'$, para todo M' , e $f(R) = R'$.

Essa definição, já apresentada neste trabalho, apresenta diferenças (diferenças de apresentação) para aquela que foi dada anteriormente, sobre o texto de 1989. Gostaria de seguir o autor na consideração das diferenças que favorecem essa definição e, depois, para finalmente terminar essa seção, associar Dm2 à defesa de (One), também já apresentada, mas agora a seguir a letra do segundo texto, bastante explicativo quanto ao que é fundamental: a negação da “identidade dos pontos entre mundos”, influenciada pela doutrina de David Lewis. Sobre as diferenças mais importantes que Dm2 apresenta em relação a Dm1, o autor explicita três (sendo que uma delas já foi comentada anteriormente), cada uma muito importante para mostrar como falha o determinismo para modelos de difeomorfismo de certo tipo (um par de “*hole diffeomorphism*”). Nestes termos procede o autor:

This differs from Dm1 in three ways. First, there is no use of the idea of an absolute object: all diffeomorphisms are considered. Second, the diffeomorphism d assumed to exist (i.e. given by the antecedent) need

not be global; it need only be defined on R or some superset of R .
Third, the (global) isomorphism f that the consequent asserts to exist need not extend d ; that is, it need not agree with d on d 's domain of definition. (Butterfield, 1988, pg. 71)⁸⁹.

Com a finalidade de sumarizar as diferenças, para tornar inteligível uma diversidade de detalhes que tentei remarcar, as diferenças são: a) o uso de “objetos geométricos absolutos” que, segundo o autor, faz a definição atuar sobre certo tipo de difeomorfismo (não englobando casos possíveis na relatividade geral, pois há, segundo o autor, a possibilidade de difeomorfismos não considerados pela definição, falhando o determinismo para eles; b) o escopo do difeomorfismo d delimitando R em R' e, como já vim assinalando (de forma bastante comedida) para o texto de 1988, de âmbito mais restrito que o difeomorfismo de M em M' , sendo R uma região e M um modelo como em $\langle M, O_i \rangle$; c) o escopo do isomorfismo global que é dado em f e sua atuação não passível de “extensão”. Mas esses pareceres mais técnicos significam o que, de fato? “a” significa que não se pode, por razões relativas à relação entre matéria e geometria no espaço-tempo, tratar apenas de “difeomorfismos comportados”. Se um “*hole diffeomorphism*” (pode ter) tem dois modelos e eles falham para $id^*(O_i) = O_i'$, então, desde que essa seja uma situação possível na consideração da questão do “buraco”, segundo a relatividade geral, há indeterminismo para a teoria e esse indeterminismo é independente do substantivismo; ou seja, independe do realismo sobre “pontos” no espaço e no tempo. A acusação aqui é de que Earman e Norton não perceberam que o indeterminismo é iminente se, para efeito de assegurar a equivalência leibniziana como condição “*sine qua non*” de determinismo, não consideramos todos os casos para a construção de modelos, e deixamos de lado um caso possível para o qual o determinismo falha. Em “b”, ao restringir o escopo do difeomorfismo, a exigência para o determinismo se torna mais branda. Uma coisa é exigir um difeomorfismo sobre modelos da teoria (isso é bastante forte), outra bem diferente é exigir difeomorfismo para regiões nos modelos referidos. É claro que, se aceitamos que uma teoria é determinista se dois modelos têm um difeomorfismo capaz de tornar verdadeira certa condição, expressa por “um difeomorfismo d que mapeia R em R' ... então, um

⁸⁹ Isso torna Dm1 diferente em três maneiras. Primeiramente, (Dm2) não faz nenhum uso de objetos absolutos: todos os difeomorfismos são considerados. Segundo, o difeomorfismo d (ex. dado pelo antecedente) não precisa ser global, apenas definido em R ou em algum superconjunto de R . Em terceiro lugar, o isomorfismo f (global) assegurado pelo consequente não precisa se estender a d ; ou seja, ele não precisa concordar em d sobre o domínio d 's de definição. (tradução minha).

isomorfismo $f...$ ”, os modelos não precisam ser difeomórficos entre si, fazendo dessa exigência para R e de um isomorfismo nos termos acima um requerimento suficiente. Mas, para dizer deles que são deterministas, ao encontrar regiões especificadas por “uma região com variedades de determinado tipo ocorrendo em modelos”, nessas regiões o difeomorfismo d deve resultar $(O_i) = O_i$ no mapa; $d(R) = R'$; o isomorfismo em M para M' é tal que $f^*(O_i) = O_i'$, para todo M' , e $f(R) = R'$. Sobre “c”, a terceira diferença, preciso dizer que, caso ela não seja respeitada e o isomorfismo global seja estendido sobre d para o domínio $d's$, $Dm2$ se torna tão irrestrito quanto $Dm1$. Imaginemos a situação seguinte: o isomorfismo transforma as coordenadas de M mapeando M' . Isto está em acordo com a definição $Dm2$. Mas, segundo $Dm2$, não podemos exigir que o isomorfismo f (o qual aparece como conseqüente na definição $Dm2$) se estenda ao difeomorfismo d tal que d concorde com outro domínio de definição $d's$. O domínio $d's$, de fato, não aparece na definição. Se o fazemos, refiro-me à extensão das transformações de coordenadas, o preço é que em $Dm2$, assim como em $Dm1$, o determinismo falha para um par de difeomorfismos do tipo “buraco”:

Indeed, we cannot require that f extend d on all of $d's$ domain, on pain of having $Dm2$ violated by any pair of hole diffeomorphs. For given one model, the identity map id on it is global, so that if f extended id , then f would equal id , and $Dm2$ would reduce to Dm (and $Dm1$) and so be violated by a pair of hole diffeomorphs. (Butterfield, 1988, pg. 71)⁹⁰.

Estender f para d tal que d e $d's$ sejam iguais reduz $Dm2$ a $Dm1$; ou seja, só é possível um isomorfismo tal que d e $d's$ concordem em um caso no qual se exige difeomorfismo de M para M' . Assim, fica claro porque não é um problema, para o determinismo nas teorias de segundo tipo, que haja um par “*hole diffeomorphs*”. Na definição utilizada por Earman e Norton, os “objetos absolutos” que acontecem não podem se referir a esse difeomorfismo, pois a utilização de “objetos absolutos” garante um isomorfismo entre modelos para qualquer objeto, uma vez que os “objetos absolutos” são objetos que “são sempre o mesmo”. $Dm2$, por sua vez, não distingue “objetos absolutos” de “objetos dinâmicos”, e como a exigência é menor, podemos

⁹⁰De fato, nós não podemos requerer que d seja estendido sobre todo domínio $d's$, sob pena de violar $Dm2$ para um par de “*hole diffeomorphs*”. Para um dado modelo, o mapa de identidade id é global, assim se f estender id , f e id se tornariam iguais e $Dm2$ seria reduzido a Dm (e $Dm1$); assim, $Dm2$ poderia ser violado por um par de “*hole diffeomorphs*”. (tradução minha).

aceitar como deterministas modelos que tenham difeomorfismo em regiões e uma concordância em objetos que sejam mapeados nessas regiões e apenas nelas.

Aceitemos por agora, tal como o autor o faz, que Dm2 tem essa vantagem sobre Dm1. Isso significa que o substantivismo está livre da acusação de Earman-Norton? Na verdade o que Dm2 é capaz de fazer é oferecer uma exigência mais fraca para considerar uma teoria determinista (o determinismo definido por modelos de uma teoria), salvando assim teorias de segundo tipo e evitando para elas o indeterminismo. Isso Dm2 é capaz de fazer, respeitando a ideia básica do determinismo (que, segundo ele, não é motivo de discordância). Para a salvaguarda do substantivismo é preciso retornar ao desafio de Butterfield em (Same), no texto de 1988, pg. 12 e responder “não” a ele, como Earman e Norton esperam que todo substantivista o faça. Após a resposta negativa, é preciso adotar (One) e então mostrar como pode um substantivista responder negativamente a um desafio que considera modelos para os quais existe um “difeomorfismo d para regiões...” e questiona se ambos são o mesmo mundo. (One) aceita, como convém a alguém que deseja o determinismo, que só existe um mundo possível a exemplificar os fatos que ocorrem no espaço-tempo. Para ser pontual e relembrar (One) com fidelidade, (One) diz que no máximo um dos modelos representa um mundo fisicamente possível. Ademais, sendo o substantivista um realista sobre “pontos” no espaço-tempo, a expectativa geral não é somente dizer, como de fato o faz Butterfield, que os modelos não representam o mesmo mundo, falhando com a “equivalência de Leibniz”. Era esperado que o substantivista escolhesse (Each). Essa era a escolha mais provável: os modelos representam mundos possíveis diferentes. Se adotamos (One) e somos substantivistas, precisamos com isso justificar essa escolha. O autor dá caminhos pelos quais poderíamos fazê-lo, sendo estes o essencialismo de Maudlin e um outro, inspirado em David Lewis. Ele adota a segunda possibilidade como a mais promissora, neste contexto:

Thus I propose that any point is a part of just one possible world. (It is of course a set-theoretic constituent [member, or member of a member, or] of many base-sets, and so many manifolds, and so many models). Similarly for mereological fusions of points, i.e. spacetime regions. This proposal is of course inspired by Lewis (ibid.), who holds that no object (point or otherwise) occurs in any two

worlds. This proposal will clearly secure (One). (Butterfield, 1988, pg. 79)⁹¹.

O autor usa a noção de “contraparte” para o objeto O_i em R' , tal que esse objeto concorde com O_i em $d(R)$. Ele não aceita que ambos os modelos são “mundos fisicamente possíveis”. Em verdade, só há um mundo fisicamente possível a relacionar os “pontos” no espaço-tempo, e eles estão a exemplificar um (e apenas um) modelo da teoria, embora possa haver muitos modelos e, portanto, muitos “mundos possíveis”. Mas, como é o emprego da noção de “contraparte”? Esse emprego não implica em realismo modal, sem o uso das chamadas “propriedades naturais” (as quais poderiam ser usadas para explicar certa relação de semelhança, exigida pela noção de “cópia”). Segundo, usa-se a noção de “contraparte” (do modo como expliquei acima) para, tendo em mente $Dm2$, atribuir às “contrapartes” o seu papel referido: atuar em uma comparação que se realiza por meio do difeomorfismo d :

Second, I cast the definition of spacetime regions agreeing on their physical state, and so the definition of determinism, in terms of spacetime regions being counterparts (understood as the hybrid notion). In short: a diffeomorphism d becomes a mode of comparison between regions so that regions R and $d(R)$ are counterparts relative to d iff the dragged-along objects $d^*(O_i)$ coincide throughout the image-region with the given objects O_i . (Butterfield, 1988, pg 80)⁹².

O autor usa habilmente $Dm2$ e a doutrina das contrapartes e, embora falhe para a chamada “equivalência leibniziana”, frustra o relacionismo na espera de que o substantivista, motivado pelo seu realismo sobre os “pontos” no espaço-tempo, responda algo como (Each) quando perguntado se dois modelos são o mesmo mundo.

⁹¹Assim, eu proponho que qualquer ponto é uma parte de apenas um mundo fisicamente possível (Isto é, um componente de um conjunto de constituintes teóricos [membros, membros de membros, ou...] de muitos conjuntos bases, e assim muitas variedades, e assim muitos modelos). Similarmente, para uma fusão mereológica de pontos, por exemplo, regiões no espaço-tempo. Esta proposta é claramente inspirada em David Lewis, o qual assegura que nenhum objeto (pontos ou outros) ocorram em quaisquer dois mundos. Isso assegura, claramente, a escolha por (One).

⁹²Segundo, eu lancei uma definição de região no espaço-tempo concordando com o seu estado físico, e assim a noção de determinismo, em termos de “regiões contrapartes” do espaço-tempo (entendido como a noção híbrida). Em resumo: um difeomorfismo d torna-se um modo de comparação entre modelos tal que a região R e a região $d(R)$ são homologas em relação a d se e somente se, o araste ao longo dos objetos $d^*(O_i)$ coincide em toda “região-imagem” com os objetos dados em O_i . (tradução minha).

Isso não acontece e, na associação de $Dm2$ e as “contrapartes”, pode-se ainda ser substantivista e determinista, porque o difeomorfismo relaciona regiões R e $d(R)$ que são contrapartes em d se e somente se um “arraste” nos objetos coincide com qualquer imagem-região cujo objeto é Oi' . Isso é o mesmo que dizer que as contrapartes em d satisfazem uma definição de determinismo para modelos, a saber, $Dm2$. Pode-se considerar que o substantivismo e seu realismo sobre os “pontos” não é prejudicado, pois, dado (One), qualquer modelo para o espaço-tempo real dotado de “contrapartes” comparadas por difeomorfismo é o modelo que exemplifica um “único mundo possível”, requerimento para qualquer definição de determinismo, seja $Dm1$, seja $Dm2$.

O texto de Butterfield é bastante técnico, gerando grande dificuldade a um leitor menos familiarizado com conceitos matemáticos e menos treinado em formalismos. Apesar disso, tentei explicá-lo brevemente fazendo justiça ao caminho pelo qual apontam, tanto Maudlin quanto Butterfield, a uma resposta possível ao “*hole argument*”⁹³. Essa questão, vale a pena mencionar novamente, é um “*account*” leibniziano no contexto da teoria da relatividade. Respondê-la é muito desejável para alguém que, como Butterfield, acredita no substantivismo como a melhor opção a representar o realismo no contexto da relatividade geral. Deixar isso claro foi parte importante do que estive tencionado a fazer nas páginas desta seção. Aqui, precisou ficar claro que o caminho é, como se esperava, negar a equivalência leibniziana, porém, sem negar o determinismo (como não se esperava que pudesse ser feito). Por essa razão, a manobra essencialista ou aquela aventada por Butterfield concordam por caminhos que são diferentes. O primeiro, por assim dizer, realiza-o por dizer que só há um mundo a exemplificar a métrica no espaço-tempo, cuja individuação dos “pontos” não permite modelos que possam representá-la; e o segundo a estabelecer que as “contrapartes” não exemplificam o mesmo mundo, mas dois mundos sendo no máximo um deles um mundo fisicamente possível e cuja atuação é um tipo de “mapa” para os “pontos” admitidos na ontologia substantivista. Além disso, para modelos admitidos pelo tratamento das “contrapartes”, é possível encontrar um objeto “*Ersatz*” em outro mundo, como sendo a sua “contraparte” e assim para cada objeto e para cada “ponto” em uma região R relacionada por um difeomorfismo d .

⁹³Há muitas outras respostas possíveis a esse argumento. Não pretendo recorrer a elas de modo exaustivo, mas apenas apontar um caminho. Para isso os autores mencionados nessa seção me foram úteis.

IV. 5 Resposta à exigência pelo determinismo.

O determinismo não é uma exigência a priori para nenhuma teoria sobre o espaço-tempo. Trata-se antes de uma restrição quanto ao tipo de razão pela qual uma teoria pode falhar para o determinismo. Mesmo Earman e Norton, autores do “*hole argument*” e incentivadores do relacionismo, mesmo eles não têm qualquer intenção de defender o determinismo. Mas esses autores estão dispostos a exigir determinismo, se a causa para o indeterminismo é uma doutrina filosófica e não uma razão própria da teoria, ou, como se costuma dizer, uma razão física. Eles aceitariam, certamente, que o determinismo pudesse falhar caso, ao especificarem o determinismo em uma definição hábil, como Dm1 e Dm2, uma razão física pudesse significar que a definição não pode ser satisfeita para modelos da teoria. Assim, por exemplo, se a relatividade, por razões relativas à covariância, falha em Dm1 (como efetivamente sugere Butterfield), não há por parte desses autores nada que possa desaconselhar Dm1, pois Dm1 é uma definição rigorosa para modelos da teoria e essa definição pode falhar por razões físicas, como, por exemplo, a impossibilidade de mapear um objeto geométrico, dados dois modelos com variedades e um difeomorfismo em M para M' . Essa é a razão pela qual a análise de Butterfield não pretende atingir Earman e Norton, uma vez que o “*hole argument*” não é uma defesa do determinismo para teorias do segundo tipo. Se Earman-Norton quisessem defender as teorias covariantes da consequência indeterminista, bastaria mostrar que exemplos como o de Butterfield não são capazes de falhar a definição para modelos, como ocorre segundo Butterfield, se nossa definição é tal como em Dm1. Mas se não o fizerem ou mesmo concordarem com as considerações de Butterfield, não há, apesar disso, nada que torne o “*hole argument*” menos apreciável, nem tampouco precisam abandonar Dm1, apenas porque para essa definição há modelos da teoria que indicam indeterminismo. Dm1 é uma boa definição, Butterfield o admite e, em diversas passagens, comenta valores e qualidades de Dm1.

O que significam as respostas ao “*hole argument*”? Elas corroboram alguma exigência pelo determinismo? Isso pode ser respondido de dois modos. O primeiro deles diz que “não”, por uma razão muito simples: não há de fato essa exigência, pelo menos não enquanto consenso. Há adeptos do determinismo, mas sua adesão é sem dúvida *pouco militante*, no sentido de que não exigem a priori que uma teoria do espaço e do tempo seja determinista. A segunda resposta, aquela que diz “sim”, aceita apenas a

versão de Earman-Norton, ou seja, por razões físicas o determinismo pode falhar, mas não por razões relativas ao substantivismo, que é somente um realismo sobre “pontos” no espaço e no tempo. As respostas sugerem então algo como sendo consensual: o substantivismo é inaceitável, se em conjunto a ele temos um efeito colateral indeterminista. A consequência indeterminista não torna o substantivismo falso, apenas inaceitável. A sugestão para essa seção é usar as respostas da seção anterior para dizer que o substantivismo é aceitável, tanto quanto o relacionismo. Isso porque se o determinismo falha, não falha por razões relativas ao substantivismo. É possível falhar para a equivalência de Leibniz e não falhar para o determinismo, mesmo sem negar o principal para uma defesa do determinismo, a saber, que um só mundo possa ser exemplificado pela variedade física a ocorrer no espaço e no tempo. O “essencialismo métrico” e a união de Dm2 com a metafísica lewisiana faz isso de modo competente. Dm2 é uma exigência compatível com o requerimento de que haja um único mundo exemplificado pelos fatos no espaço e no tempo, mesmo que modelos difeomórficos sejam criados. É ainda, Dm2, suficientemente acomodável aos casos de difeomorfismos em modelos W e W' , de tal modo que um objeto geométrico pode ser mapeado em outro modelo. O tratamento em termos de modelos leva à questão em (Same), que é basicamente saber se dois modelos (nos termos apresentados por Butterfield) se reconhecem como o mesmo mundo. Neste ponto, tendo em vista aquilo sobre o que os autores estão de acordo como necessário ao determinismo, a resposta usual substantivista seria, supostamente, indeterminista. É aqui que o tratamento em termos de modelos ganha importância. Dois modelos são dois mundos para Butterfield, mas no máximo um desses dois modelos representa um mundo fisicamente possível. O outro modelo possui “contrapartes” dos objetos geométricos (no sentido de David Lewis), e isso mais a negação da “identidade entre mundos” consegue um resultado que também é alcançado em Maudlin: o de negar que o realismo sobre “pontos” no espaço e no tempo resulta em dois possíveis mundos (fisicamente) diferentes. Com isso, pode-se responder bem à exigência pelo determinismo, entendida como acima foi explicado. O essencialismo o responde competentemente. Sua polêmica se dá quanto à premissa de que as relações são essências para cada “ponto” no espaço e no tempo, mas não no que diz respeito à inferência lógica de que não há indeterminismo, desde que o essencialismo seja o caso. A teoria de Butterfield tem exatamente o mesmo resultado, ou seja, não há indeterminismo porque não há dois mundos fisicamente possíveis representados por modelos. Também em Butterfield os passos efetivos são suficientes

para realizá-lo. Considero assim, por essa razão, que o substantivismo desses autores não é inaceitável. Butterfield e Maudlin mostram, cada um à sua maneira, que é possível para um realismo sobre “pontos” no espaço-tempo se ver livre da acusação de indeterminismo, pois seria incomodo conviver com essa acusação tendo em troca, para oferecer, quando da formulação e aceitação do substantivismo, uma teoria filosófica pouco útil à prática preditiva das ciências em geral.

V. Considerações finais.

Essa dissertação teve a intenção de: a) apresentar o debate em metafísica contemporânea, a respeito do estatuto ontológico do espaço-tempo, com considerações sobre filosofia do espaço e do tempo e filosofia da física, concomitantemente; b) defender o substantivismo das objeções que lhe foram feitas e, para justificá-lo como opção realista no debate, dar grande ênfase, na literatura disponível, sobre substantivismo/relacionismo e teoria da relatividade. Isso foi realizado em cinco etapas, das quais estabeleço as considerações a seguir.

O primeiro capítulo apresentou o debate por recorrência a sua história, voltando à polêmica Leibniz-Newton e alguns comentadores clássicos para a sua compreensão. Defendi, nesse primeiro capítulo, a atualidade do dualismo em torno a esses autores e a permanência dessas questões na filosofia contemporânea.

O segundo capítulo foi uma apresentação breve da importância da teoria da relatividade para a versão mais contemporânea dessa questão. O objetivo foi entender por qual razão a relatividade pode ser considerada a grande revitalizadora para a filosofia do espaço e do tempo. Apresentei a teoria e seus resultados sem a pretensão de esgotá-la, nem no que diz respeito à extensa literatura científica sobre ela, tampouco sobre os seus resultados mais importantes para o interesse filosófico em questão. Mas, ainda assim, sua apresentação pretendia contemplar com brevidade as duas revoluções encerradas por Einstein (relatividade restrita e geral), cujo roteiro seria mostrar os resultados mais evidentemente destacados por filósofos da física contemporâneos: a relatividade da simultaneidade (para a relatividade restrita); a igualdade entre massa inercial e massa gravitacional e a exigência da teoria pela generalização do princípio de relatividade (relatividade geral), além da problemática incorporação do princípio de Mach. Algumas das muitas discussões importantes na literatura foram apresentadas, como, por exemplo, a razão e a legitimidade da manutenção de conceitos absolutos em uma teoria cujo autor, pelo menos a princípio, pretendeu que fosse cumpridora de um programa de ampla inspiração machiana.

O terceiro capítulo recupera a relação entre relacionismo e empirismo, para então apresentar o relacionismo como uma doutrina a aceitar o cumprimento de determinadas exigências, muitas delas inspiradas francamente em virtudes que o empirismo almeja para o fazer científico e filosófico. Todas as seções subsequentes, neste capítulo,

revelam algum compromisso com certo ideal científico, como, por exemplo, o desejo de permanecer dentro do âmbito estritamente observacional. As exigências machianas foram divididas em duas: o “princípio de Mach” e uma espécie de redução que, nos contextos em que o princípio é observado, poderia, teoricamente, ser realizada. Essa redução é o pedido por uma teoria sem valores absolutos e que relegue a espaço e tempo um papel apenas instrumental. Falhamos para esse papel quando mantemos compromisso ontológico com entidades inobserváveis, como é o caso para um realismo sobre os “pontos” no espaço-tempo. A exigência pela observabilidade apresenta-se do seguinte modo: o relacionismo seria mais conforme a prática científica, pois tudo o que qualquer teoria do espaço e do tempo é capaz de apresentar, enquanto resultado positivo, diz respeito a relações observáveis e mensuráveis e não ao espaço-tempo em si. Portanto, uma exigência como essa apresenta, de maneira que se acomoda muito mais a qualquer dos tipos de empirismo do que a qualquer realismo, uma crítica por resultados possíveis para uma teoria substantivista. O substantivismo é sem utilidade para a prática científica, pois a ciência não se utiliza dos chamados “pontos” no espaço e no tempo, mas apenas de relações mensuráveis que, supomos, têm esses “pontos” como o “cenário geométrico” de sua ocorrência.

A quarta exigência diz respeito à recuperação de um modo propriamente leibniziano de proceder. Ao recuperar aspectos muito significativos da crítica leibniziana, os autores nele inspirados, Earman e Norton, apresentam o “*hole argument*” e o dilema do indeterminismo. Nesta seção, duas coisas foram contempladas: a) o caráter propriamente leibniziano do “*hole argument*”; b) os aspectos discursivos do argumento, deixando claro quais são as implicações e como elas estão a se seguir da opção pelo substantivismo. Esse dilema diz respeito também ao caráter improdutivo dessa opção filosófica (inobservável, não contribui preditivamente, não aumenta o escopo do nosso conhecimento, inflaciona nossa ontologia, etc.) quando associada a uma consequência indeterminista de seu realismo, consequência a que estão sujeitas doutrinas covariantes, e que é preciso mostrar não ser o caso. Segundo o “*hole argument*”, o substantivista deve reconhecer que cada modelo diz respeito a um “mundo”, falhando com a “equivalência leibniziana” e com o determinismo para teorias do espaço-tempo. Por que deveríamos adotar um realismo a esse respeito, se nenhum benefício podemos tirar dessa opção e se por ela perdemos algo que nos é caro, a saber, a possibilidade de salvar a covariância, intrínseca à teoria da relatividade geral, do

indeterminismo no tratamento exigido pela conjunção de seus modelos e o realismo sobre “pontos”?

A quinta e última exigência é o complemento natural do tratamento leibniziano, retomado por Earman e Norton. É a preferência pelo determinismo, desde que nenhuma razão física esteja a prejudicá-lo. O determinismo não deve falhar por razões que não essas. Se o determinismo efetivamente falha, quando em conjunto a ele se tem uma interpretação para modelos sem a salvaguarda da “equivalência leibniziana” e um tratamento realista sobre os “pontos” no espaço-tempo, então o substantivismo é indesejado e podemos dizer que é, o substantivista, o elo mais fraco dessa corrente. A doutrina deve ser considerada inaceitável!

Cada uma dessas exigências é desafiada no quarto capítulo, com respostas particularizadas, retiradas da ampla literatura sobre essa questão. O contexto da teoria da relatividade é mais uma vez o principal para que as respostas sejam efetivas. Responde-se às exigências de tipo machiana muito facilmente, graças a certo consenso entre os autores de que a relatividade geral não incorpora o princípio de Mach. Qualquer redução só é possível se o princípio de Mach é exemplificado. Como o princípio de Mach não é totalmente exemplificado na relatividade geral, tampouco se dá uma redução que faz de qualquer menção ao espaço-tempo algo instrumental, cuja referência pode ser atribuída a relações matérias, como na chamada “hipótese de Mach”.

A resposta à exigência pela observabilidade segue um roteiro com a finalidade de mostrar que, para que seja uma exigência relacionista a concorrer em favor desta última, é preciso ou caracterizar o relacionismo como doutrina negativa, como apenas a refutação do substantivismo, ou então efetuar a redução de modo a responder à questão pela relação suficientemente originária, sem a qual não pode haver espaço-tempo. A resposta tem por objetivo mostrar que não há qualquer relação que possa realizá-lo, e as razões são tanto derivadas de considerações sobre a relatividade quanto de considerações lógico-conceituais. Primeiro, procurei mostrar que a tese de Aristóteles sobre a correlação entre tempo e mudança pode ser apresentada como uma tese epistemológica. Não há qualquer razão capaz de garantir não haver tempo sem mudança, mesmo se aceitamos que um intervalo de tempo só é medido com alguma mudança observada. A segunda maneira de questioná-lo diz respeito a razões relativas à teoria da relatividade e à impossibilidade de caracterizar um fluxo temporal objetivo. O quadridimensionalismo pode ser suficiente para negar que a física de Aristóteles (ou definições à semelhança) caracterize o tempo como dependente de alguma relação. A

união do espaço e do tempo na física contemporânea, desde os trabalhos de Minkowski, ajuda imensamente na realização deste objetivo. Como a tese de Minkowski é advogada por filósofos defensores da “tese da similaridade”, entender a física de Aristóteles como promotora de uma redução qualquer não funciona, porque não podemos caracterizar nessa redução o espaço e o tempo, como atualmente se faz para a teoria. A “tese da similaridade” não pode aceitar diferenças ontológicas entre espaço e tempo. Uma última questão para responder a essa exigência, a mais empirista dentre todas as que foram feitas no terceiro capítulo, é retirada de uma consideração puramente conceitual, apoiada principalmente em Shoemaker. Sua experiência de pensamento, realizada em *“Time Without Change”*, problematiza qualquer redução do tempo ao movimento, mas de um ponto de vista lógico-conceitual: é possível pensar, sem contradição, uma situação na qual o tempo passa, independentemente de qualquer mudança observada na natureza. Por paradoxal que isso pareça, no caso pensado por Shoemaker haverá tempo, mesmo na ausência de “relógios” – entendendo “relógios” em um sentido mais amplo. Todos esses argumentos contestam a vantagem relacionista: o relacionismo está mesmo mais em conformidade com a prática científica? O relacionismo pode ser caracterizado apenas como a refutação do substantivismo? Há alguma relação sem a qual é inimaginável que espaço e tempo existam? Portanto, esse capítulo conclui ceticamente sobre a existência real (e de direito) da vantagem que o relacionismo pretendia ter, sobretudo após o aparecimento das teorias da relatividade. As soluções para as exigências leibnizianas são mostradas em dois passos. O primeiro diz respeito ao que a tradição chama de essencialismo métrico, e o segundo é resultado de um determinado uso das doutrinas de David Lewis, somadas a uma atrativa versão do determinismo e substantivismo; atrativas enquanto da perspectiva de quem simpatiza com o realismo em filosofia da ciência. As respostas acima, tanto em Butterfield quanto em Maudlin, ajudam ao passo seguinte, o qual procura responder a uma exigência pelo determinismo nas teorias do espaço-tempo.

Após ter recuperado os passos da dissertação, a conclusão é, acompanhando a literatura sobre isso (que embora bastante dividida, torna sua defesa permissível): a teoria da relatividade, tanto em sua forma restrita quanto em sua forma geral, faz possível que os conceitos newtonianos (no que diz respeito a espaço e tempo) sejam mantidos em seu contexto. Em verdade, no contexto da física contemporânea, os conceitos herdados de Newton assumem uma forma compatível com os trabalhos sobre teoria da relatividade, nos assim chamados neo-newtonianos. No interior da relatividade

encontra-se um arcabouço conceitual e resultados da teoria que não exigem o abandono de tais conceitos, e uma interpretação filosófica da teoria pode, sem prejuízo para a prática científica, adotar o substantivismo e seguir a justificá-lo. Nesta dissertação há ainda um argumento a ser usado por substantivistas. Esse argumento depende fortemente de que se aceite a caracterização de relacionismo, a qual venho adotando desde o terceiro capítulo. Assim, foi apresentado que o relacionista cumpre com certas exigências específicas, em grande medida relacionadas com um tipo de crítica que, historicamente, vem abatendo a filosofia da ciência inclinada ao realismo. De premissas empiristas, muitas delas atendam a uma demanda “mais ou menos” compartilhada de qualidades que o discurso científico e filosófico deve ter.

O relacionista, quando da construção de seu discurso, procura atender a essa demanda. As exigências do terceiro capítulo, uma por uma, foram resultado da leitura de alguns autores e comentadores que abordam a questão Leibniz / Newton e a versão mais atual desse debate, cujos nomes de cada lado são, a representar Leibniz ou o que seria o pós leibnizianismo, Reichenbach, Grünbaum e os co-autores do “*hole argument*”. Ao lado do newtonianismo podem ser citados Friedman, Butterfield, Maudlin e outros. As exigências, implícitas ou muito destacadas na literatura, representam a esperança de atender o mais que possível a um ideal de ciência, que não nego ser apreciável, enquanto ideal. Mas acredito que as respostas são suficientes para argumentar em função da seguinte tese: a teoria da relatividade não é cumpridora indelével das exigências que são feitas! Assim sendo, mesmo com as qualidades todas que, por ventura, uma teoria perfeitamente relacionista viesse a ter; mesmo hoje, quase cem anos do surgimento da segunda relatividade, não há razão conclusiva para o abandono da opção realista nesse debate. A teoria da relatividade é, como estou aceitando desde muito antes dessa conclusão, a melhor teoria sobre o espaço-tempo. Assim, um requisito que uma teoria filosófica deve ter, na verdade um indispensável requisito, é acomodar-se bem no interior do esquema conceitual da relatividade. Isso é o que o realismo sobre “pontos” faz muito bem. Na verdade, um realismo sobre os chamados “pontos” pode comprometer-nos com regiões no espaço-tempo, as quais são aceitas em nossa ontologia. O substantivismo pode ser interpretado como a fusão mereológica dos “pontos” no espaço-tempo. O realismo é a teoria da relatividade levada a sério, não só por seus resultados experimentais e preditivos, considerados impressionantes, mas também por ocasião de um forte compromisso com a verdade daquilo que fôra por ela implicado:

Quem aceita que a teoria da relatividade geral fornece uma imagem literalmente correta do mundo físico deve alinhar-se com a tradição newtoniana e encarar o espaço-tempo como uma substância. (Maudlin, 1988, pg. 561).

Não quero passar a falsa ideia de que o realismo ou substantivismo venceu o debate na metafísica do espaço-tempo. Fui, desde o começo, empenhado em reunir algumas das defesas que o substantivismo tem produzido, com a finalidade de, ao apresentá-las, construir um caminho para a mediação desse argumento. Uma tese relacionista, se corretamente caracterizada no capítulo três, enfrenta a objeção de responder a limites auto-exigidos por seus defensores, cuja tentativa de acomodação, no contexto da teoria da relatividade, é problemática. Por fim, o meu argumento pode ser resumido: se as teorias da relatividade descumprem (ou não exemplificam) as exigências relacionistas, por que então a ontologia filosófica, a qual se pretende que seja com ela concordante, deveria realizá-lo rigorosamente? Não se deve exigir da ontologia do espaço-tempo algo mais que se exige das teorias científicas, mas pode e deve ser exigido que a relatividade tenha uma interpretação filosófica compatível a ela. O relacionismo e a relatividade são incompatíveis? De modo algum é assim. O relacionismo e a relatividade são compatíveis, em verdade o próprio Einstein pensava assim e, ainda mais, acreditou por um tempo que a relatividade conferiria à doutrina leibniziana a vitória final. Isso pode ser encontrado em uma apresentação de 1953 ⁹⁴. Mas parece que isso não se realizou e os autores são, hoje em dia, menos entusiasmados com a conjunção da teoria einsteiniana e o programa relacionista.

Para finalizar, é preciso ainda apontar aos caminhos que têm seguido os principais autores, muitos dos quais têm participado com sua brilhante exposição e originalidade nos mais diversos momentos deste trabalho. Algumas tendências apontam para uma nova abordagem, da qual hoje é possível ter apenas algum contorno, uma vaga ideia, portanto:

My own tentative conclusion from this unsatisfactory situation is that when the smoke of battle finally clears, what will emerge is a conception of space-time that fits neither traditional relationism nor

⁹⁴A apresentação de Einstein é muito citada, ver em: C.W. Misner; K. S. Thorne e J. A. Wheeler, *Gravitation*, 1970.

traditional substantivalism. At present we can see only dimly if at all the outlines the third alternative might take. But I hope to have identified the considerations we need to pursue in trying to give it a more definite form. And I hope that even those readers who do not accept the morals I draw for the absolute relational debate will nevertheless agree that the hole construction and the catalog of reactions to it serve both to reveal a previously unappreciated richness to the doctrines of determinism and space-time substantivalism and to link these doctrines in a deeper way to issues in the philosophy of science and in metaphysics. (Earman, 1989, pg. 208)⁹⁵.

Há outras tendências na filosofia contemporânea, dentre as quais se encontram o que se convencionou chamar de “atitude resolutória”, batizada assim por Ian Hinckfuss (Hinckfuss, 1988, pg. 183-192). Trata-se um modo eclético de proceder em filosofia do espaço e do tempo. O ecletismo diz respeito à adoção de aspectos de cada doutrina para a formulação de uma nova filosofia do espaço e do tempo. Aquilo, porém, que os filósofos estão a adotar ou rejeitar em cada teoria, pode variar caso a caso. Para detalhes, consultar as obras de Richard Swinburne (Swinburne, 1968) e Paul Horwich. (Horwich, 1978, pg. 397-419).

Concluo que a literatura sobre substantivismo e teoria da relatividade é capaz de fazer a defesa daquele no contexto deste. Isso, é claro, não é o mesmo que concluir em favor do substantivismo. É possível ser substantivista, mas o debate sobre substantivismo e relacionismo não foi decidido. Ele está exemplificado na dicotomia entre um realismo e um antirealismo (sobre teorias científicas do espaço-tempo), com as especificidades que são próprias a toda forma de dualidade semelhante, em filosofia e filosofia da ciência.

⁹⁵Minha conclusão preliminar, a partir desta situação insatisfatória, é que quando a fumaça da batalha se abaixar emergirá uma nova concepção de espaço-tempo, a qual não é nem o relacionismo e nem o substantivismo tradicionais. No presente, podemos ver apenas os contornos dessa terceira alternativa. Mas eu espero ter identificado as alternativas que são necessárias para continuar na procura por uma melhor definição. Espero ainda que mesmo os leitores que não aceitam as qualidades que tenho apresentado, relativamente ao debate absolutismo-relacionismo, possam concordar que o desenvolvimento do “*hole argument*” e as reações a essa questão servem para revelar detalhes preciosos e nem sempre apreciados das doutrinas do determinismo e substantivismo sobre espaço-tempo, bem como para vincular de maneira mais profunda essas doutrinas com questões em filosofia da ciência e metafísica. (tradução minha).

Bibliografia.

Agostinho, (1964), *Confessions*, Garnier-Flammarion.

Aristóteles (1983), *Physique*, Less Belles Lettres, tradução de Carteron, pg. 143-53.

Alexander, G. H. (1984), *The Leibniz-Clarke Correspondence*, Manchester University Press, Manchester.

Assis, ATK & Pessoa, O. (2001), Erwin Schödinger e o princípio de Mach, *Cad. Hist. Fil. Ci.* Campinas, Série 3, v. 11, n. 2, pg. 131-52.

Assis, A.K, T. (1998), *Mecânica relacional*, Campinas: UNICAMP, Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência (Coleção CLE; v. 22).

Luce, A.A e Jessop, T.E (orgs), (1951), *The Works of George Berkeley*, Londres: Nelson.

Berkeley, G. (1980), *Tratado sobre os Princípios do Conhecimento Humano*. In Victor Civita, editor, Volume “Berkeley e Hume” da Coleção Os Pensadores, São Paulo, 2a edição, Abril Cultural. Tradução de A. Sérgio. Original de 1710.

Berkeley, G. (1992), *De Motu - Of Motion, or the principle and nature of motion and the cause of the communication of motions*. In M. R. Ayers, editor, George Berkeley's Philosophical, London, Everyman's Library. Original de 1721.

Bob, H. (1996), Absolute Necessities, *Philosophical Perspectives*, 10.

Butterfield, J. (1988), Albert Einstein Meets David Lewis, Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association, Volume Two: Symposia and Invited Papers, pg. 95-81.

Butterfield, J. (1989), The Hole Truth, *The British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 40, No. 1, pg. 1-28.

Bueno, O. (1999), *O empirismo construtivo*, Centro de lógica, Epistemologia e História da Ciência, Campinas (coleção CLE).

Bunge, B. (1966), Mach's critique of newtonian mechanics. *American Journal of Physics*, 34, pg. 585–596.

Branquinho, J. (2004), Compromisso Ontológico. *Crítica: revista de filosofia*, pg.161-166, Disponível na internet : <http://www.joaobranquinho.com/compromisso.pdf>. Acessado: 24/02/2012.

Brans, C. e Dicke, R. H. (1961), *Mach's principle and relativistic theory of gravitation*, Physical Review 124, pg. 492-502.

Brown, G. B. (1955), A theory of action-at-a-distance. *Proceedings of the Physical Society B*, 68, pg. 672–678.

Cassini, A. e Levinas, L. (2005), *La reinterpretación radical del experimento de Michelson-Morley por la relatividad especial*, *Cientia Studia*, vol. 3, no. 4, dez.

Campanella, T. (Lyon, 1635), *Medicinalium juxta propria principia libri septem*.

Campanella, T. (Paris, 1638), *Metaphysicarum rerum juxta propria dogmata*.

Earman, J. e Norton, J. (1987), *What prince space-time substantivalism? The hole story*, *British Journal for Philosophy of Science*, 38, pg. 515-525.

Earman, J. (1989), *World Enough and Space-Time*, Cambridge, Mass: MIT Press.

Einstein, A. (1918), *Prinzipielles zur allgemeinen Relativitätstheorie*, *Annalen der Physik* 55, pg. 241–244.

Einstein, A. (1921). *The Meaning of Relativity: Four lectures delivered at Princeton University, May*, Trad. de Edwin P. Adams. Princeton: Princeton University Press, 1922. Londres: Methuen, 1922. Edição alemã, *Vier Vorlesungen über Relativitätstheorie*. Braunschweig: Vieweg, 1922. Tradução para o português da 5a edição em inglês, *O Significado da Relatividade*. Trad. de M. Silva. Coimbra: Arménio Amado, 1958.

Einstein, A. (1954), *Relativity: the special and the general theory*, Londres: Methuen. Original de 1917.

Einstein, A. (1978 [1917]), *Considerações cosmológicas sobre a teoria da relatividade geral*. In A. Einstein, H. Lorentz, H. Weyl e H. Minkowski, *O Princípio da Relatividade*, Lisboa, 2a edição, Fundação Calouste Gulbenkian.

Einstein, A. (1999), *A teoria da relatividade especial e geral*. Contraponto.

Einstein, A. (2005, [1920]), *Obra essencial, Éter y teoria da relatividade; Las ideas fundamentales y los metodos de la teoria de la relatividad segundo su desarrollo*. In Barcelona: Crítica.

Feyerabend, P. K. (1988), *Against Method*, Cambridge: Cambridge University Press.

Friedman, M. (1983), *Foundation of Space-Time Theories: Relativistic Physics and Philosophy of Science*. Princeton University Press, New Jersey.

Gassendi, P. (Florença, 1727) *Syntagma Philosophicum*.

Gödel, K. (1949), *A Remark about the Relationship Between Relativity and Idealistic Philosophy*, in *Albert-Einstein: Philosopher-Scientist*, Schilpp, P. (ed.), pp. 557-562. La Salle, IL: Open Court.

Gödel, K. (2006), *Uma nota acerca das relações entre a teoria da relatividade e a filosofia idealista*. Revista brasileira de ensino de física, v. 28, n. 4, pg. 521-524. História da Física e Ciências Afins - Seção especial: Homenagem a Kurt Gödel.

Grünbaum, A. (1957), The Philosophical retention of absolute space in Einstein's general theory of relativity, *The Philosophical review* 66, pg. 525-534.

Grünbaum, A. (1963), *Philosophical Problems of space and Time*, Nova York: Knopf.

Hacking, I. (1993), *Representing and Intervining*, Cambridge: Cambridge University Press.

Hinkfuss, I. (1988), Absolutism and relationism in space and time: a false dichotomy, *The British Journal for the Philosophy of Science*, 39, pg. 183-192.

Hoefer, C. (1995), *Einstein's Formulations of Mach's principle*, In: Barbour, J.B. & Pfister, H. (orgs.). *Mach's Principle: From Newton's Bucket to Quantum Gravity*. Einstein Studies, v. 6. Boston: Birkhäuser, pg. 67-90.

Horwich, P. (1978), On the existence of Time, space and space-time, *Noûs*, Vol. 12, No. 4 (Nov., 1978), pp. 397-419

Hubble, E. (1937), *The Observational Approach to Cosmology*, Clarendon Press, Oxford.

Jammer, M. (2010), *Conceitos de espaço: a história das teorias do espaço na física*, Contraponto.

Lowe, E.J. (1998), *The Possibility of Metaphysics*, Clarendon Press, Oxford.

Kaempffer, F. A. (1958), On possible realizations of Mach's program. *Canadian Journal of Physics* 36, pg. 151-159.

Kuhn, S. T. (1998), *A Estrutura das revoluções científicas*, Perspectiva.

Lewis, D. (1968), Counterpart Theory & Quantified Modal Logic, *Journal of Philosophy* 65, pg. 113-126.

Lewis, D. (1973), *Counterfactuals*, Oxford: Blackwell.

Lewis, D. (1983), New Work for a Theory of Universals, *Australasian -Journal of Philosophy* 61, pg. 343-377.

Lewis, D. (1983), Individuation by Acquaintance & by Stipulation, *Philosophical Review*, 92, pg. 3-32.

Lewis, D. (1986), *On the Plurality of Worlds*, Oxford: Blackwell.

Le Pouvedain, R. Machbeath, M. (1993), *The philophy of time*, Oxford: Oxford University Press. Artigo traduzindo em: http://criticanarede.com/met_tempo2.html, consultado em 24/02/2012.

Leibniz, W. G. (1983), *Correspondência com Clarke*. Coleção “Os Pensadores”, volume de “Newton e Leibniz”. Abril Cultural, São Paulo, Tradução e notas de C. L. de Mattos.

Mach, E. (1960), *The Science of Mechanics, A Critical and Historical Account of Its Development*, Open Court, La Salle. Original de 1883.

_____ (2ª edição 1989), *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*, Leipzig: Brockhaus.

_____ (Leipzig 7ª edição, 1921) *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*.

Maudlin, T. (1988), *Substances and Spacetime*, forthcoming in *Synthese*.

Maudlin, T. (1989), *The Essence of Space-Time*, In PSA 1988, vol. 2, ed. A. Fine and M. Forbes. East Lansing, Mich.: Philosophy of Science Association.

Maudlin, T. (1989), *Substances and Space-Time: What Aristotle Would Have Said to Einstein*, forthcoming in *Studies in the History and Philosophy of Science*.

Mark, H. (1993), Varieties of Four Dimensionalism *Australasian Journal of Philosophy* 71, pg. 47-59.

Misner, C, W. Thorne, K, S. Wheeler, J, A. (1970), *Gravitation*, San Francisco: W.H. Freeman and Co., pg. 19.

More, H. (1649), *Enchiridium metaphisicum*.

More, H. (1668), *Divine Dialogues*, I:XXIV.

Newton, I. (1687), *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. Londres: S. Pepys, Tradução para o inglês: (1952), *Mathematical Principles of Natural Philosophy*, in *Great Books of the Western World*, v. 372. Chicago: Encyclopaedia Britannica, pg. 1-372. Tradução para o português: (1990), *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, v. 1. Tradução de T. Ricci, L.G. Brunet, S.T. Gehring e M.H.C. Célia. São Paulo: Nova Stella/Edusp.

Newton, I. (1692), *Correspondence*, vol. III, Cambridge University Press.

Neumann, C. (1896) *Über das Newton'sche Prinzip der Fernwirkung*, Leipzig: B.G. Teubner, pg. 165.

Putnam, H. (1967), Time and Physical Geometry, *Journal of Philosophy* 64, pg. 240-247. Reprinted in Putnam's *Collected Papers*, vol. I. Cambridge: Cambridge University Press, 1975.

Raine, D. J. (1981), Mach's principle and space-time structure, *Reports on Progress in Physics* 44, pg. 1151–1195.

Ray, C. (1993), *Tempo, espaço e filosofia*, Papirus.

Reinhardt, M. (1973), Mach's principle – A critical review, *Zeitschrift für Naturforschung A* 28, pg. 529–537.

Reichenbach, H. (1958), *The Philosophy of space and Time*, Nova York: Dover Publications.

Rietdijk, C. W. (1966), A Rigorous Proof of Determinism Derived from the Special Theory of Relativity, *Philosophy of Science* 33, pg. 341-4.

Rovelli, C. (2006), *The disappearance of space and time*, The ontology of spacetime, Elsevier.

Salmon, N. (1989), The Logic of What Might Have Been, *The Philosophical Review*, Vol. XCVIII, no. 1.

Salmon, W. C. (1977-1979), *Introduction to H. Reichenbach*, Gesammelte Werk (Braunschweig: Vieweg,) v. 1, pg. 25.

Seeliger, H. (1896), Über das Newton'sche Gravitationsgesetzes, *Sitzungsberichte der Bayerischen Akademie der Wissenschaften* 26, pg. 373-390.

Seeliger, H. (1898), On Newton law of gravitation, *Popular Astronomy* 5, pg. 544-551.

Sider, Ted. (2001), *Four-Dimensionalism*, An Ontology of Persistence and Time Oxford: Clarendon Press.

Sciama D. W. (1953), *On the origin of inertia*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 113, pg. 34–42

Schiff, L. I. (1964), Observational basis of Mach's principle. *Reviews of Modern Physics* 36, pg. 510–511.

Sklar, L. (1974), *Space, Time and Spacetime*, University of California Press.

Sklar L. (1992), *Philosophy of Physics*, Oxford: Oxford University Press.

Shoemaker, S. (1969), Time without change, *The Journal of Philosophy*, vol. LXVI, no. 12.

Swinburne, R. (1968), *Space and Time*, Londres, Macmillan; Nova York: St Martin's Press.

Teller, P. (1991), Substance, relations, and argument about the nature of space-time, *Philosophical Review*, pg. 363-397.

Thirring, H. (1918), Über die wirkung rotierender ferner massen in der Einsteinschen gravitationstheorie. *Physikalische Zeitschrift* 19, pg. 33–39.

Thirring, H. (1921), Berichtigung zu meiner arbeit: ‘Über die wirkung rotierender ferner massen in der Einsteinschen gravitationstheorie’. *Physikalische Zeitschrift* 22, pg. 29–30.

Wheeler, J. A. (1961), *Mach’s principle as Boudary condition for Einstein equations*, em Chiu, H.Y e Hofman, W.F. Gravitation of Relativity, Nova York, Benjamin.